



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE - UFS**  
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE PESQUISA - POSGRAP**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA - PPGeo**

**BISMARQUE LOPES PINTO**

**DINÂMICA GEOMORFOLÓGICA DE VOÇOROCAS NO MUNICÍPIO DE**  
**TUCANO - BAHIA**

Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos  
São Cristóvão – SE  
2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA – POSGRAP  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – PPGeo

BISMARQUE LOPES PINTO

**DINÂMICA GEOMORFOLÓGICA DE VOÇOROCAS NO MUNICÍPIO DE  
TUCANO – BAHIA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia - PPGeo da Universidade Federal de Sergipe – UFS – como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia.

**Orientador:** Prof. Dr. Hélio Mário de Araújo.

**Linha de pesquisa:** Dinâmica Ambiental.

Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos  
São Cristóvão – SE  
2018

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

Pinto, Bismarque Lopes

P659d    Dinâmica geomorfológica de voçorocas no município de Tucano – Bahia /Bismarque Lopes Pinto ; orientador Hélio Mário de Araújo. – São Cristóvão, 2018.  
130 f. : il.

Dissertação (mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Sergipe, 2018.

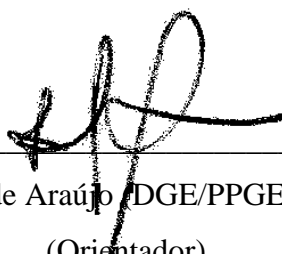
1. Geografia ambiental. 2. Geologia ambiental. 3. Erosão. 4. Voçorocas – Tucano (BA). I. Araújo, Hélio Mário de, orient. II. Título.

CDU 911.3:504.121:551.435.162(813.8)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
PROREITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA – POSGRAP  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – PPGeo

**DINÂMICA GEOMORFOLÓGICA DE VOÇOROCAS NO MUNICÍPIO DE  
TUCANO - BAHIA**

Dissertação submetida à apreciação da banca examinadora em 31 de Janeiro de 2018,  
constituída pelos membros:



Prof. Dr. Hélio Mário de Araújo (DGE/PPGeo/PRODEMA/UFS)  
(Orientador)



Profª Drª Neise Mare de Souza Alves (DGE/PPGeo/UFS)  
(Membro Interno)



Prof. Dr. Ronaldo Missura (DGE/UFS)  
(Membro Externo)

São Cristóvão/SE, 31 de Janeiro de 2018.



## AGRADECIMENTOS

O caminho na construção de um processo formativo não é nada fácil, mas os agradecimentos são necessários para aqueles que surgem em nossas vidas para nos auxiliar enquanto verdadeiros seres de luzes que enxugam nossas lágrimas, nos dão abraços de consolo nos momentos de desânimos e nos mostram a nossa real capacidade que temos diante dos desafios. O mestrado demonstrou para mim, o quão vasto é o crescimento intelectual humano e como devemos e podemos aprender com o outro. Inicialmente, reafirmo os agradecimentos a Deus, e aos mentores de luzes, que transmitiram a mim toda a energia da sabedoria e da compreensão nos momentos de percalços na construção desta pesquisa.

Agradeço com todo o meu sentimento de carinho ao Professor Doutor Hélio Mário de Araújo, pela sua capacidade humana de acolhimento e paciência em ajudar-me a seguir os passos corretamente da pesquisa, me guiando como um verdadeiro ORIENTADOR para a finalização deste estudo científico. Meu muito obrigado!

Agradeço aos meus pais, Euzailma Guimarães Lopes e Antonio Santos Pinto, pela formação sólida, enquanto ser humano, que me fez firmar princípios éticos os quais foram essenciais para a minha consolidação como pesquisador nesta investigação científica.

A minha família, de modo geral (avós) [encarnados e desencarnados], tios (as), primos (as)), os quais foram elementos fundamentais para a minha sustentação nesta longa jornada do mestrado e foram cruciais para a minha permanência no curso diante de tantas adversidades da distância e dos desânimos.

Agradeço ao C. E. Portal da Esperança (entre amigos de trabalhos e mentores) pela energia positiva dada em toda a minha jornada acadêmica. Agradeço aos meus poucos e verdadeiros amigos e amigas que, permaneceram ao meu lado, me transmitindo luz e calma nas noites de tempestades.

Como não dizer que esta jornada foi tão proveitosa ao agradecer aos meus recentes e eternos amigos da “República dos Baianos” (Karla Tanan, Carlinha, Dudu e Sandrinha) as quais, entre desafios e conquistas, crescemos juntos e mostramos a todos que a Bahia também faz Geografia em Sergipe rsrsrs... Obrigado meus amigos!

Aos colegas da turma Geomestrado 2016.1 que muito me ensinaram os valores de companheirismo e coletividade nas aulas com riquíssimas contribuições geográficas. A Elaine, Denize, Juliana, Priscila, Riclaudio, Raquel, Morgana, Isabela, Rafael. Agradeço pelas ajudas fraternas de acolhimento inestimável e amoroso das meninas de Alagoas e

Pernambuco (Edilsa, Sheilla, Ana e Michelle) pelas doses de autoestima e determinação, as quais foram transmitidas a mim todos os dias! Valeu Geógrafas!

Agradeço ao Geógrafo Ivo Matias Campos, de crucial importância para o desenvolvimento técnico desta pesquisa, que com sua paciência (rsrsrs) soube materializar todas as minhas ideias e propostas na elaboração dos documentos cartográficos! Muito Obrigado!

Nas trajetórias de campo, não poderia deixar de agradecer ao meu colega Décio que com toda a sua gigantesca humildade e sabedoria de mundo, me auxiliou no desbravamento das voçorocas no município de Tucano e sempre esteve de prontidão a me ajudar! Valeu meu amigo!

Por fim, agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO/UFS) materializado nas professoras e professores, técnicos e coordenadora, os quais sempre estiveram de prontidão a me auxiliar e orientar no bom andamento de minha trajetória no mestrado. Agradeço também a CAPES pelo fomento à pesquisa concedendo-me bolsa de estudo.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> -Tucano/BA, localização geográfica das voçorocas 01 e 02, 2017 .....	19
<b>Figura 2</b> - Modelos de vertente proposto por Ruhe (1975).....	22
<b>Figura 3</b> - Classificação morfológica de voçorocas .....	23
<b>Figura 4</b> - Classificação de tipologia de voçorocas.....	24
<b>Figura 5</b> - Esquema lógico do sistema na perspectiva de Edgar Morin .....	29
<b>Figura 6</b> - Simulação da mudança de classificação de conectada para desconectada através da atuação da alcova de regressão na cabeceira da voçoroca provocando o alargamento da mesma .....	41
<b>Figura 7</b> - Perfil demonstrativo da classificação de tipologia de voçorocas .....	42
<b>Figura 8</b> - Impacto da gota da chuva no solo causando a retirada dos agregados superficiais do solo, induzindo a formação da erosão por splash .....	46
<b>Figura 9</b> - Simulação da interferência da topografia na dinâmica dos processos erosivos ...	48
<b>Figura 10</b> - Mapa de isoietas da área de estudo .....	53
<b>Figura 11</b> - Estação Climatológica de Cipó/BA, volume pluviométrico anual da área próxima das voçorocas, município de Tucano/BA, 2017 .....	54
<b>Figura 12</b> - Representação dos aspectos meteorológico e do balanço hídrico da área .....	56
<b>Figura 13</b> - Localização e unidades estratigráficas da Bacia de Tucano Central, lócus geológico das voçorocas em estudo .....	58
<b>Figura 14</b> - Unidades Geológicas da área das voçorocas.....	59
<b>Figura 15</b> - Afloramento de arenito da formação marizal no topo da Voçoroca 02 .....	60
<b>Figura 16</b> - Conglomerados e arenitos da formação marizal no interior da voçoroca 02 .....	60
<b>Figura 17</b> - Estratigrafia da formação Marizal.....	61
<b>Figura 18</b> - Estratigrafia da formação São Sebastião .....	62
<b>Figura 19</b> - Unidades geomorfológicas do perímetro das voçorocas.....	65
<b>Figura 20</b> - Vista panorâmica do tabuleiro, exibindo os planos de estratificação horizontal.....	66
<b>Figura 21</b> - Tabuleiros intercalados no pediplano intermontanas entulhadas por sedimentos erosivos .....	67
<b>Figura 22</b> - Espacialização das unidades de tabuleiros e pediplanos, evidenciando o retrabalhamento do rio itapicuru nos plainos de acumulação local. ....	68
<b>Figura 23</b> - Mapa taxonômico da área em estudo nas suas diferentes escalas.....	69
<b>Figura 24</b> - Classes pedológicas predominantes no perímetro das voçorocas, 2017 .....	71
<b>Figura 25</b> - Declividade e Altimetria da Voçoroca 01, 2017 .....	75
<b>Figura 26</b> - Processo de ravinamento na cabeceira do canal principal da V1 a 330 metros de altitude entre 45 a 75° de inclinação.....	76
<b>Figura 27</b> - Ramificações de sulcos e ravinas no topo do canal secundário 01 da Voçoroca 01, a 290m de altitude e 20 a 45° de declividade .....	76
<b>Figura 28 A, B, C, D</b> - Segmentos da dimensão espacial do canal principal da voçoroca 01 .....	77
<b>Figura 29 A, B</b> - Bancos de sedimentos retirados dos níveis superiores da voçoroca 01 .....	78

<b>Figura 30</b> - Configuração morfológica externa e setorização das unidades de erosão e acumulação da Voçoroca 01 .....	80
<b>Figura 31</b> - Processos erosivos com forte entalhamento no canal secundário 01, apresentando incisão vertical de 15,36 metros.....	81
<b>Figura 32</b> - Complexo erosivo no canal secundário 03, com incisão vertical de 10,23 metros .....	81
<b>Figura 33</b> - Cone de dejeção no terço inferior da V1 resultante do processo erosivo atuante no terço superior.....	82
<b>Figura 34</b> - Área de deposição no terço inferior da V1, utilizada para agricultura de pequeno porte pelo morador da comunidade quilombola “Tucano de Fora” .....	82
<b>Figura 35</b> - Ravina de 32 cm de profundidade por 19 cm de largura no canal secundário 02 .....	83
<b>Figura 36</b> - Incisão vertical de 6,12 metros no canal secundário 02 .....	84
<b>Figura 37</b> - Incisão vertical de 18,37 metros de profundidade no canal secundário 01 .....	84
<b>Figura 38</b> - Incisão vertical de 13,21 metros com a presença de blocos rochosos no seu interior proporcionando a bifurcação da estrutura erosiva.....	85
<b>Figura 39</b> - Abertura do canal principal da V1, com uma sub-abertura horizontal interna de 21,57 metros.....	86
<b>Figura 40</b> - Área do canal principal da V1 utilizado como estrada vicinal de ligação dos municípios de Tucano a Ribeira do Pombal, atualmente com aberturas de ravinamento pela presença da ação humana .....	86
<b>Figura 41</b> - Complexo de ravinas do canal secundário 03 com variação de profundidade de 32 a 43 cm, registrando a presença de sedimentos inconsolidados no interior de suas incisões.....	87
<b>Figura 42</b> - Ramificação de ravinas no canal secundário 04, com profundidade de 21 a 46 cm, com presença de sedimentos inconsolidados em seus canais .....	88
<b>Figura 43</b> - Formação de crostas na camada superficial do solo, na borda da abertura do canal principal da V1 .....	89
<b>Figura 44</b> - Área de escoamento laminar com o aparecimento de escoamentos superficiais difusos na cabeceira da V1 .....	89
<b>Figura 45</b> - Processo de ravinamento evidenciado no canal principal da V1 .....	90
<b>Figura 46 A, B</b> - Formação da feição residual interna de pedestal no canal secundário 01, da V1 .....	91
<b>Figura 47</b> - Morfologia interna de escamamento na parede do canal secundário 02, da V1 ..	91
<b>Figura 48</b> - Formação de marmitas residuais paralelos à formação de ravinas difusas na parede do canal secundário 02, da V1 .....	92
<b>Figura 49</b> - Morfologia interna de costelas na cabeceira do canal secundário 02, da V1, com a presença do material resistente (Costelas = C, setas brancas) e o material erodido (pequenas depressões) menos resistente (Depressões = D, setas pretas). .....	92
<b>Figura 50</b> - Desconexão da Voçoroca 01 perante a drenagem do Itapicuru.....	93
<b>Figura 51</b> - Posicionamento tipológico da Voçoroca 01 na vertente, 2017 .....	94
<b>Figura 52</b> - Perfis topográficos do canal principal da Voçoroca 01, 2017.....	97
<b>Figura 53</b> - Perfis topográficos dos canais secundários 01 e 02, 2017 .....	98

<b>Figura 54</b> - Medição de uma das aberturas irregulares com 10,30 metros de profundidade do canal secundário 01 da voçoroca 1 .....	99
<b>Figura 55</b> - Perfis topográficos dos canais secundários 03 e 04, 2017 .....	101
<b>Figura 56</b> - Vertente Convexo-Côncava (cx-cc) sobre a Voçoroca 02. Seta preta: Indica o achatamento do topo do tabuleiro em processo de desgaste erosivo. Setas brancas: indicam a convexidade da vertente desgastada pelos processos erosivos até chegar ao contato com o fundo plano arenoso (seta vermelha). .....	102
<b>Figura 57</b> - Declividade e Altimetria da Voçoroca 02, 2017 .....	104
<b>Figura 58</b> - Processos erosivos sobre classes de declividade 20-45% e 45-75% no topo da vertente .....	105
<b>Figura 59</b> - Sedimentação ao sul da voçoroca 2 na classe de declividade inferior a 20% e cota altimétrica de 220m .....	105
<b>Figura 60 A, B</b> - Cicatrizes erosivas com aprofundamento de 6 metros e largura máxima de 47 cm.....	106
<b>Figura 61 A,B</b> - Processos erosivos difusos a 330 metros de altitude, com declividade de 20 a 45% .....	107
<b>Figura 62</b> - Configuração morfológica externa da Voçoroca 02, 2017.....	109
<b>Figura 63 A, B, C, D</b> - Sulcos e ravinas Na voçoroca 2 / C-D: Processos erosivos difusos no interior da voçoroca 2.....	110
<b>Figura 64</b> - Sulcos e ravinas no interior da voçoroca 2 evidenciando a generalização erosiva com rompimento de antigas divisões que formavam canais secundários. Comprovação da atual forma retangular avançada .....	111
<b>Figura 65 A, B</b> - Vista panorâmica do banco de sedimentos consolidados e presença de vegetação arbustiva secundária sobre o material. B – ranhuras inferiores a 30 cm de profundidade na base do banco de sedimentação no setor de acumulação da voçoroca 2 ..	112
<b>Figura 66 A, B</b> - vista panorâmica das 08 alcovas de regressão originadas no topo da voçoroca 02. ....	115
<b>Figura 67</b> - Dimensão espacial do duto no interior da voçoroca 02 .....	116
<b>Figura 68 A, B:</b> Pedestais no interior da voçoroca 02 .....	117
<b>Figura 69 A, B</b> - Queda de blocos do material arenoso das paredes internas da voçoroca 02 .....	118
<b>Figura 70</b> - Seta preta: Formação de sulcos e ravinas na parede interna da voçoroca 02 / Seta branca: acúmulo de sedimentos no interior da V2 .....	119
<b>Figura 71 A, B, C, D</b> - Presença da cobertura vegetal secundária no interior da voçoroca 2. ....	120
<b>Figura 72</b> - Perfis topográficos da Voçoroca 02, 2017 .....	123
<b>Figura 73</b> – Posicionamento topográfico da Voçoroca 02 na vertente, 2017.....	124

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Parâmetro correlativo entre volume médio erodido com o estabelecimento do tamanho da voçoroca.....	25
<b>Tabela 2</b> - Cipó/BA -precipitação pluviométrica mensal e anual – 2010/1016 .....	52
<b>Tabela 3</b> - Dados morfométricos e do volume médio erodido da Voçoroca 01.....	95
<b>Tabela 4</b> - Tucano/BA, dimensões métricas das alcovas de regressão na voçoroca 02, 2017 .....	1143
<b>Tabela 5</b> - Dados morfométricos e do volume médio erodido da Voçoroca 02.....	1221

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Descrição conceitual das feições morfológicas de voçorocas.....	43
---	----

## RESUMO

O entendimento evolutivo e atual das cicatrizes erosivas na paisagem dão subsídios para uma melhor compreensão da dinâmica do ambiente natural pretérito e contemporâneo de modo que o seu comportamento geomorfológico denunciaram a atuação dos condicionantes ambientais no processo de esculturação do relevo. Assim, para melhor entendimento das cicatrizes erosivas em seus diferentes estágios, objetivou-se analisar as estruturas geomorfológicas de 02 (duas) voçorocas na zona rural do município de Tucano (BA) para avaliar a dinâmica evolutiva e contemporânea das feições erosivas exibidas na área. Neste sentido, para cumprimento desse e outros objetivos norteadores da pesquisa, utilizaram-se diferentes procedimentos metodológicos, priorizando a revisão da literatura, o trabalho de campo e a elaboração de cartas temáticas sobre os condicionantes geoambientais do perímetro das voçorocas e perfis topográficos associados, entre outros. Os resultados desse estudo mostram que a Voçoroca 01 apresenta dimensões em torno de 13,377 km<sup>2</sup>, com aspecto morfológico ramificado, constituído de 04 canais secundários e padrão desconectado a rede de drenagem. Localiza-se no terço superior e médio da vertente do tabuleiro dominante na área. Sua divisão setorial permitiu melhor compreender a dinâmica erosiva com maior expressividade entre os terços superior de maior atuação da erosão, abrangendo área em torno de 9,12 km<sup>2</sup>, e inferior que se caracteriza pelo acúmulo de sedimentos ocupando área aproximada de 4,24 km<sup>2</sup>. A setorização, sem dúvida, facilitou a identificação das feições internas de pedestais, marmitas residuais, costelas e escamamentos. Finalmente, registrou-se uma perda média de solo aproximada de 2,453 m<sup>3</sup>. No que pese a Voçoroca 02, verificou-se a sua abrangência areal correspondente a 10,97 km<sup>2</sup>. Entretanto, pelo fato de apresentar uma dinâmica evolutiva avançada em relação a voçoroca 01, possui uma configuração retangular sem a presença de canais secundários. Em sua setorização, observou-se foco erosivo de 9,008 km<sup>2</sup> predominando nos terços superior e médio da voçoroca que apresenta um sistema de morfologias internas com 08 alcovas de regressão no topo da cicatriz erosiva, além da formação de dutos, pedestais, queda de blocos, sulcos e ravinas generalizadas. Na porção inferior de maior acumulação de sedimentos abrangendo 1,971 km<sup>2</sup>, constatou-se um extenso banco de sedimentação consolidado. Seu posicionamento encontra-se desconectado a rede de drenagem, com perda de solo estimada em 3,045 m<sup>3</sup>. Apresentada as grandes dimensões da área, afirma-se que o sistema de voçorocamento predominante no espaço rural do município de Tucano tem sua gênese associada à interferência conjunta dos processos naturais na evolução do relevo tabuliforme local, mesmo porque as atividades econômicas desenvolvidas no perímetro de domínio das cicatrizes erosivas, pela sua expressividade no terreno, não demanda um uso intensivo do solo capaz de repercutir na evolução rápida do relevo local, a não ser de forma muito secundária, com resultados quase imperceptíveis. Em suma, os resultados aqui apresentados servem de base para a implementação de uma política de planejamento ambiental, até mesmo pelo pioneirismo da investigação, já que a área sempre foi vista como lugar inútil e de pouco interesse sob o ponto de vista da gestão municipal local. Assim, pelo alto grau de degradação a que chegou a área do perímetro das voçorocas urge uma tomada de medidas que visem à preservação do ambiente.

**Palavras-Chave:** Comportamento Geomorfológico, Erosão, Voçoroca.

## ABSTRACT

The evolutionary and current understanding of the erosive scars in the landscape give support for a better understanding of the dynamics of the past and present natural environment so that their geomorphological behavior denounce the performance of the environmental factors in the process of relief sculpture. Thus, to better understand the erosive scars in their different stages, the objective was to analyze the geomorphological structures of 02 (two) gullies in the rural area of the city of Tucano (BA) to evaluate the evolutionary and contemporary dynamics of the erosive features exhibited in the area. In this sense, in order to fulfill these and other guiding objectives of the research, different methodological procedures were used, prioritizing the literature review, the fieldwork and thematic charts on the geoenvironmental conditioners of the gully perimeter and associated topographic profiles, between others. The results of this study show that the Voçoroca 01 has dimensions around 13,377 km<sup>2</sup>, with a morphological ramified aspect, constituted of 04 secondary channels and standard disconnected the drainage network. It is located in the upper and middle third of the slope of the dominant board in the area. Its sectoral division made it possible to better understand the erosive dynamics with greater expressiveness between the upper thirds of greater erosion performance, covering an area around 9.12 km<sup>2</sup>, and lower that is characterized by the accumulation of sediments occupying an area of approximately 4.24 km<sup>2</sup>. The sectorization, undoubtedly, facilitated the identification of internal features of pedestals, residual kettles, ribs and scales. Finally, an average soil loss of approximately 2,453 m<sup>3</sup> was recorded. In spite of Voçoroca 02, it was verified its sandy range corresponding to 10,97 km<sup>2</sup>. However, due to the fact that it presents an advanced evolutionary dynamics in relation to voçoroca 01, it has a rectangular configuration without the presence of secondary channels. In its sectorization, it was observed erosive focus of 9,008 km<sup>2</sup> predominating in the upper and middle thirds of the voçoroca that presents a system of internal morphologies with 08 regression alcoves at the top of the erosive scar, besides the formation of ducts, pedestals, furrows and ravines. In the lower portion of greater accumulation of sediments covering 1,971 km<sup>2</sup>, an extensive consolidated sedimentation bank was found. Its positioning is disconnected from the drainage network, with soil loss estimated at 3,045 m<sup>3</sup>. Given the large size of the area, it is stated that the predominant voicoramento system in the rural area of the municipality of Tucano has its genesis associated with the joint interference of the natural processes in the evolution of the local tabuliform relief, even though the economic activities developed in the domain perimeter of the erosive scars, due to their expressivity on the ground, does not require an intensive use of the soil capable of reverberating in the rapid evolution of the local relief, except in a very secondary way, with almost imperceptible results. In summary, the results presented here serve as a basis for the implementation of an environmental planning policy, even by pioneering research, since the area has always been seen as a point of no use and of little interest from the point of view of local municipal management. Thus, due to the high degree of degradation reached by the area of the perimeter of the gullies, it is urgent to take measures that aim at the preservation of the environment.

**Keywords:** Erosion, Gully, Geomorphological Behavior.



## SUMÁRIO

<b>Agradecimentos .....</b>	<b>iv</b>
<b>Lista de figuras .....</b>	<b>vi</b>
<b>Lista de tabelas .....</b>	<b>ix</b>
<b>Lista de quadros .....</b>	<b>ix</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>x</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>xi</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1. Problemática e Questões Norteadoras.....</b>	<b>16</b>
<b>1.2. Objetivos .....</b>	<b>18</b>
1.2.1. Objetivo Geral.....	18
1.2.2. Objetivos Específicos .....	18
<b>1.3. Procedimentos Metodológicos .....</b>	<b>18</b>
1.3.1. Localização da área de estudo .....	18
1.3.2. Caracterização dos aspectos geoambientais da área de estudo .....	20
1.3.3. Altimetria e Declividade .....	21
1.3.4. Classificação do modelo de vertente sob as feições erosivas .....	21
1.3.5. Classificação da morfologia externa e interna das voçorocas .....	22
1.3.6. Classificação Tipológica .....	23
1.3.7. Quantificação dos dados morfométricos e perda de solo (m <sup>3</sup> ) .....	25
<b>2. EROÇÃO, DINÂMICA DE VERTENTES E SISTEMAS DE VOÇOROCAMENTO EM LITOESTRUTURA SEDIMENTAR.....</b>	<b>26</b>
<b>2.1. Aproximações teóricas sobre a visão sistêmica da paisagem.....</b>	<b>27</b>
<b>2.2. Processos associados à dinâmica de vertentes .....</b>	<b>35</b>
<b>2.3. Mecanismos e fatores de formação na erosão dos solos.....</b>	<b>37</b>
2.3.1. Classificação das feições erosivas: Sulcos, Ravinas e Voçorocas.....	37
2.3.2. Fator Precipitação (Chuva) .....	45
2.3.3. Fator Cobertura Vegetal.....	46
2.3.4. Fator Topografia .....	47
2.3.5. Fator solo .....	49

<b>3. ASPECTOS GEOAMBIENTAIS DO PERÍMETRO DAS VOÇOROCAS .....</b>	<b>51</b>
<b>3.1. Aspectos climáticos.....</b>	<b>52</b>
<b>3.2. Componente litoestrutural .....</b>	<b>57</b>
<b>3.3. Estrutura geomorfológica.....</b>	<b>64</b>
<b>3.4. Classes pedológicas.....</b>	<b>69</b>
<b>4. DINÂMICA EROSIVA E ORGANIZAÇÃO MORFOLÓGICA DAS VOÇOROCAS</b>	
<b>01 E 02 .....</b>	<b>72</b>
<b>4.1. Caracterização geomorfológica da voçoroca 01 .....</b>	<b>73</b>
4.1.1. Declividade e variações altimétricas.....	73
4.1.2. Organização morfológica externa e interna .....	79
4.1.3. Análise morfométrica, perda de solo e posicionamento topográfico na	
vertente.....	93
<b>4.2. Caracterização geomorfológica da voçoroca 02 .....</b>	<b>102</b>
4.2.1. Declividade e variações altimétricas.....	102
4.2.2. Organização morfológica externa e interna .....	108
4.2.3. Análise morfométrica, perda de solo e posicionamento topográfico na	
vertente.....	121
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>125</b>
<b>6. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>127</b>
<b>7. ANEXO.....</b>	<b>131</b>

# 1. INTRODUÇÃO

---

*Área de formações tabuliformes, sub-bacia de tucano central, Tucano/BA.*



*Fonte: Antônio Ilton Souza Santana, 2017.*

**"Saber que é possível, é o começo da felicidade."**  
*William Cowpe*

## 1. INTRODUÇÃO

---

Abordar o tema voçoroca e erosão dos solos é de fundamental importância para se compreender como este fenômeno influencia na evolução das paisagens, já que o entendimento evolutivo e atual das cicatrizes erosivas na paisagem dão subsídios para uma melhor compreensão da dinâmica do ambiente natural pretérito e atual de modo que o seu comportamento geomorfológico denuncia a atuação dos condicionantes ambientais no seu processo de esculturação do relevo.

As oscilações climáticas e atividades tectônicas estabeleceram na paisagem, processos de reestruturação geomorfológica, que vêm sendo retrabalhados até os dias atuais através dos sistemas de voçorocamento que esculpem a modelagem terrestre provocando modificações no padrão de vertente, rebaixamento do relevo, bem como formação de extensos depósitos coluvionais (Mello, 1997).

Segundo Moura (1997) a atuação dos processos erosivos no Quaternário serviu de base para a organização sistêmica da paisagem tendo em vista que associado a essas atuações erosivas tem-se o reajustamento significativo da topografia sobre diversos domínios morfoclimáticos no Brasil.

As pesquisas iniciais de Mello (1997) na região planáltica do sudeste do Brasil mostram que as feições erosivas ali instaladas fazem parte de todo um contexto de evolução geomorfológica bem definida no período do Quaternário, contudo, as atividades de uso e ocupação da terra, podem ocasionar a reativação dessas feições erosivas, promovendo seu desenvolvimento e ampliação das voçorocas na paisagem.

Ross (1992) em sua pesquisa taxonômica de classificação do relevo ressalta as feições erosivas destacando-se as voçorocas, como o 6<sup>o</sup> taxóns de classe do relevo, correspondendo às feições geradas pelos processos morfodinâmicos atuais, influenciado tanto pelos condicionantes ambientais como pelas intervenções antropogênicas no ambiente.

Neste sentido, os estudos de voçorocas enquadram-se na proposta de Ross (1992) quando busca-se analisar os processos morfogenéticos que envolve a evolução do relevo local associados às modificações realizadas ao longo da vertente.

O estudo do sistema de voçorocamento na zona rural do município de Tucano, localizado na região semiárida baiana, justifica-se pelo fato de não se encontrarem pesquisas sobre a formação e evolução geomorfológica das cicatrizes erosivas desenvolvidas na

litoestrutura da bacia sedimentar de tucano central, intercalado em uma área de transição geomorfológica entre as unidades de tabuleiros e depressão intermontana.

Nesta perspectiva, a realização desse estudo adotando como base metodológica a abordagem sistêmica para melhor conhecer o processo erosivo evolutivo da paisagem local, sem dúvidas, despertará o interesse de outros estudiosos em aprofundar o assunto, já que aqui é um primeiro passo na busca do conhecimento para se pensar medidas mitigadoras de controle da erosão, que embora tenha se desenvolvido no espaço rural do município de Tucano, merece um olhar mais acurado sob o ponto de vista da gestão pública municipal, até pelo alto nível de degradação do ambiente na escala do tempo geológico.

A dissertação está estruturada em 4 capítulos. No **Capítulo 1**, de caráter introdutório, apresenta-se um panorama geral sobre o tema abordado, destacando-se a problemática e questões norteadoras de pesquisa, os objetivos e a metodologia, enfatizando suas diferentes etapas e fases no processo de construção do conhecimento teórico e empírico.

O **Capítulo 2** apresenta uma discussão teórica, baseada na visão de diferentes autores, abordando os seguintes tópicos: Aproximações teóricas sobre a visão sistêmica da paisagem; Processos associados a dinâmica de vertentes e Mecanismos e fatores de formação na erosão dos solos.

O **Capítulo 3** aborda as principais características geoambientais do perímetro das voçorocas e adjacências, na perspectiva de compreender a estrutura sistêmica-ambiental das feições erosivas manifestadas na área, levando-se em consideração as informações de natureza pedológicas, geológicas, geomorfológica e climáticas.

No **Capítulo 4**, de base empírica, levou-se em consideração a abordagem das voçorocas 1 e 2 a partir da análise qualitativa e quantitativa dos parâmetros geomorfológicos, além de referência aos aspectos estruturais interno e externo, formação de canais secundários, perda de solo e posicionamento na vertente.

E finalmente, o último tópico apresenta as considerações finais, enfatizando a necessidade de uma política urgente de planejamento ambiental/territorial que vise à preservação do ambiente das voçorocas, devido ao alto grau de degradação apresentado na paisagem local.

## 1.1. PROBLEMÁTICA E QUESTÕES NORTEADORAS DE PESQUISA

A paisagem é construída a partir do resultado geocronológico da relação dos sistemas ambientais. Geologicamente, tais sistemas possuem momentos de equilíbrio e desequilíbrio que, juntos no mesmo contexto espacial, esculpem e fazem evoluir a estrutura geomorfológica da área. Entende-se que cada unidade natural possui processos particulares que influenciam diretamente na evolução ou regressão do relevo, formulando assim, relações de equilíbrio e desequilíbrio que trazem respostas diretas na paisagem.

A erosão é um dos fenômenos ambientais mais evidente na paisagem, pois é neste contexto erosivo, que o sistema natural começa a desequilibrar-se, alimentando assim, sucessivas fases de deterioração dos demais elementos ambientais para que por fim, se possa recriar um novo cenário paisagístico. O desenvolvimento de voçorocas no ambiente se constitui como um fenômeno de desequilíbrio da paisagem. Para compreender tal fenômeno é necessário entender o ambiente como uma cadeia sistêmica sujeita a mudanças em seu estado de “equilíbrio” a todo o momento.

Cabe ressaltar na perspectiva de Guerra (2007) que o desenvolvimento da erosão na paisagem não deve ser entendido apenas como um fator antropogênico, mas sim, sob o ponto de vista dos condicionantes da estrutura pedológica, a dinâmica da vertente local bem como a dinâmica pluviométrica da área. Todos esses fatores tornam-se indicadores para a compreensão dos mecanismos de formação de uma voçoroca.

Cada erosão possui suas particularidades em sua formação e desenvolvimento. Desse modo, tal fenômeno deve ser entendido a partir de diversos fatores que influenciam em sua geração. Diante do panorama erosivo evidente na área rural do município de Tucano, estabelecemos os seguintes questionamentos para um melhor entendimento do sistema de voçorocamento:

- Quais aspectos geoambientais da área são relevantes para o desenvolvimento das voçorocas?
- De que modo as morfologias podem trazer respostas para a atual formação e evolução geomorfológica das voçorocas na área?
- Quais processos podem ser atribuídos para a formação tipológica existentes entre as feições erosivas localizadas sobre a mesma vertente e condicionantes geológicos e geomorfológicos?

- Qual o volume médio erodido de solo retirado a partir da formação das voçorocas na área e os seus consequentes impactos no terço inferior da vertente decorrentes do transporte de sedimentos?

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo Geral**

Analisar as estruturas geomorfológicas de 02 (duas) voçorocas na zona rural do município de Tucano (BA), de modo a avaliar a dinâmica evolutiva e contemporânea das feições erosivas da área.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Analisar os aspectos geoambientais do perímetro das voçorocas;
- Caracterizar a organização morfológica interna e externa das feições erosivas, de modo a entender sua atual configuração espacial;
- Classificar as variáveis tipológicas existentes entre as voçorocas de acordo com os parâmetros pré-existent;
- Quantificar o volume médio erodido dos solos das voçorocas para o entendimento da dimensão estrutural e aprofundamento das feições erosivas, a fim de se verificar o impacto do transporte e deposição de sedimentos no terço inferior das vertentes.

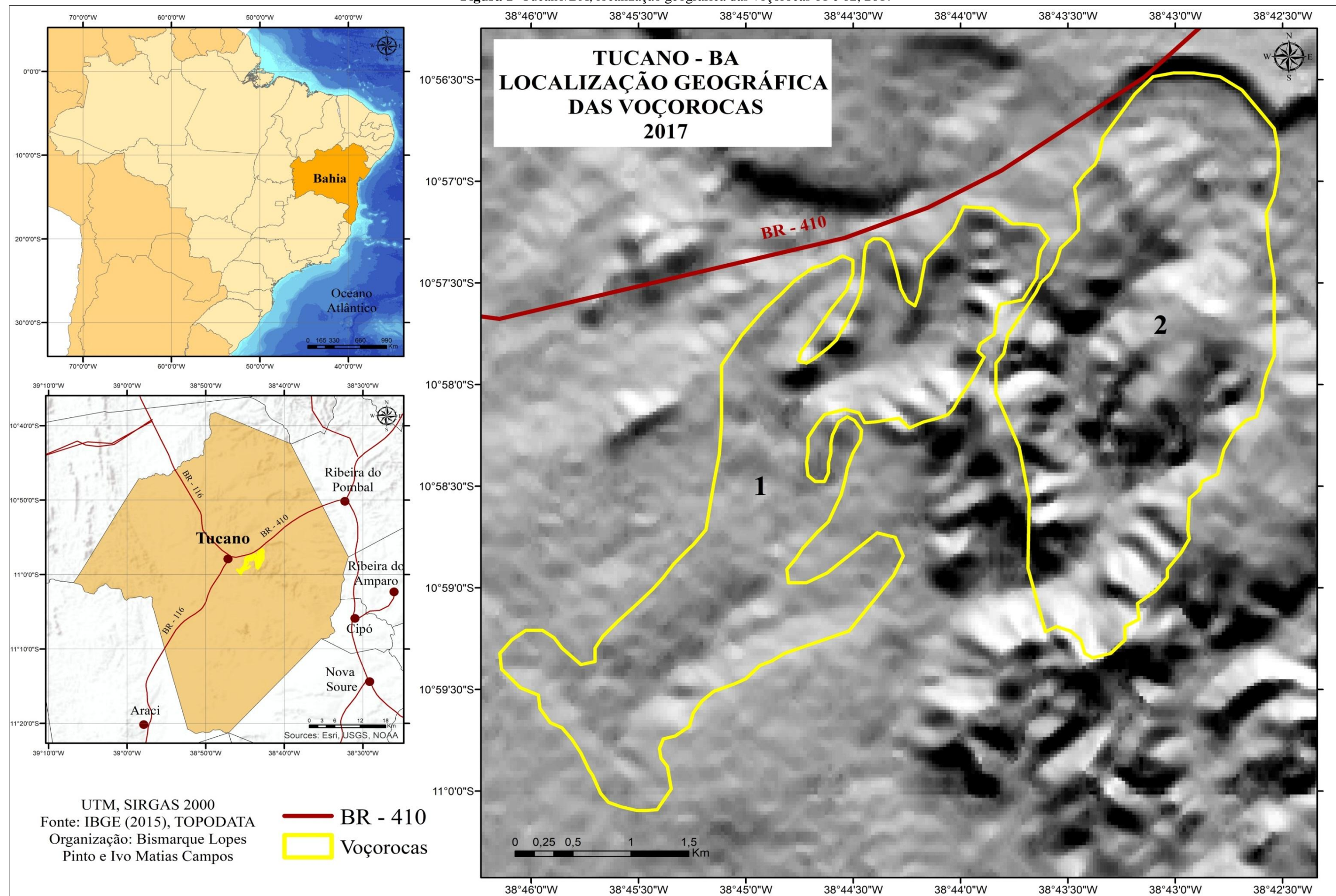
## **1.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

### **1.3.1. Localização da área de estudo**

A área da pesquisa abrange a zona rural do município de Tucano, na região semiárida baiana. O perímetro das voçorocas 1 e 2 aqui consideradas para efeito de análises, corresponde aproximadamente a 24,35 km<sup>2</sup>, localizado entre as coordenadas geográficas de 38° 46' 0" a 38° 42' 0" de longitude W, e 10° 56' 30" a 11° 00' 0" de latitude S (figura 01).



**Figura 1** -Tucano/BA, localização geográfica das voçorocas 01 e 02, 2017





### **1.3.2. Caracterização dos aspectos geoambientais da área de estudo**

- **Clima**

Para a análise dos aspectos climáticos, confeccionou-se o mapa de isoietas para espacializar a distribuição média da pluviometria local. Em sua elaboração, utilizou-se a base cartográfica (em formato *shape*) da Superintendência de Recursos Hídricos da Bahia (SRH), na escala de 1:100.000.

Para a obtenção de dados pluviométricos dos últimos cinco anos, utilizou-se os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para a análise dos dados de precipitação mensal e anual, umidade do ar e temperatura. Os dados foram obtidos pelo site do INMET da estação de Cipó (Código da estação: 83192), pela maior proximidade da área das voçorocas.

- **Geologia**

A análise geológica da área realizou-se em dois momentos, sendo o primeiro na elaboração do mapa das unidades geológicas existentes a partir da utilização da base cartográfica do serviço de dados e informações do projeto GEOBANK da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), na escala de 1:100.000. Neste mapa, evidenciou-se a espacialização de cada unidade na área e sua dimensão além de fatores relacionados à gênese e a idade geológica de cada formação. Junto ao mapa, utilizou-se referências bibliográficas que abordassem discussões sobre as características principais da unidade geológica.

No segundo momento fez-se à atividade de campo com registros fotográficos dos afloramentos das rochas provenientes das unidades reconhecidas previamente no mapeamento realizado. Para descrição das informações obtidas em campo, utilizou-se um diário de bordo para auxiliar nas anotações das características evidenciadas a partir das observações *in loco*, de modo a compatibilizar com as descrições apresentadas na literatura.

- **Geomorfologia**

O reconhecimento das unidades geomorfológicas sob o sistema de voçorocamento em estudo se deu através da confecção do mapa de unidades geomorfológicas a partir da base cartográfica (em formato *shape*) da Superintendência de Recursos Hídricos da Bahia (SRH) na escala de 1:100.000. Para validar as informações obtidas no mapeamento, fez-se o trabalho

de campo e registro fotográfico para o reconhecimento das características morfológicas das unidades de relevo as quais se encontram os processos de voçorocamento.

Mediante a generalização das informações consideradas na base disponível pela SRH sobre o relevo área em estudo, buscou-se realizar uma nova delimitação das unidades geomorfológicas em evidência na paisagem local. Desse modo, foi estabelecida a divisão a partir de registros coletados em trabalho de campo onde pode-se estabelecer os limites das unidades de relevo, para que assim, em ambiente SIG, foi usado da cota altimétrica de 281m-330m como limite oficial para a compartimentação geomorfológica das unidades de pediplano e tabuleiros.

- **Pedologia**

Com a elaboração do mapa de classe de solos fez-se a espacialização das classes de solos predominantes na área utilizando-se a base cartográfica (em formato shape) da Superintendência de Recursos Hídricos da Bahia (SRH) na escala de 1:100.000. Além disso, fez-se uma discussão com os referenciais teóricos, evidenciando as características de cada classe de solo.

### **1.3.3. Altimetria e Declividade**

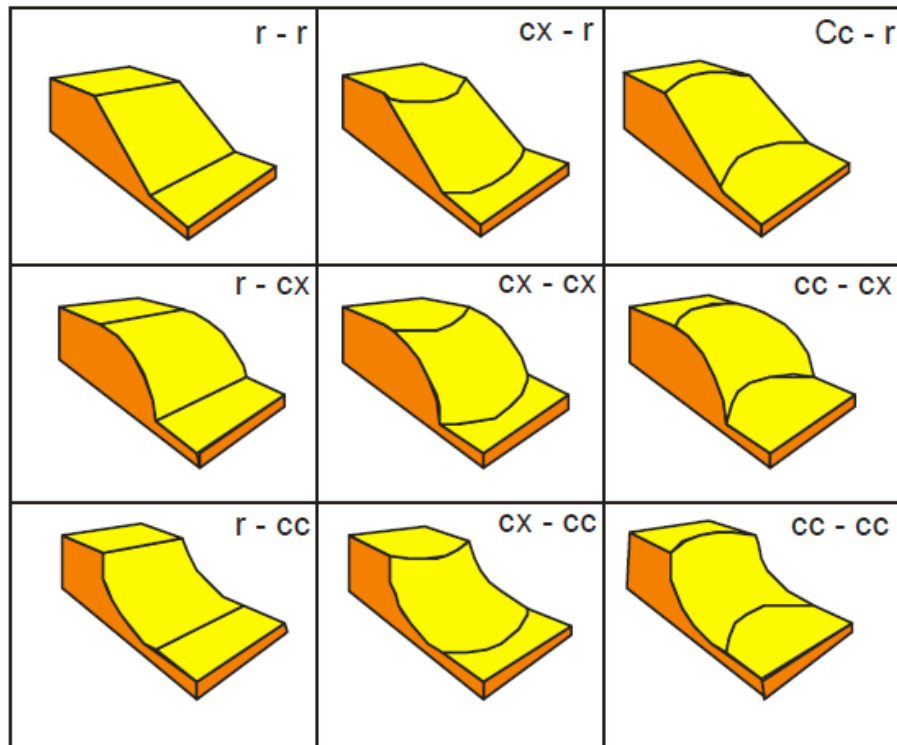
Os dados de altimetria e declividade foram extraídos das grades TIN, construídas a partir das imagens 10S39\_ZN e 11S39\_ZN do projeto TOPODATA da SRTM, refinada pelo método Krigagem, onde a resolução de 90 metros é aumentada para 30 metros. O projeto TOPODATA foi desenvolvido pelo INPE e disponibilizado pela EMBRAPA por monitoramento de satélites. No mapa de altimetria das voçorocas, foi optada a quebra de curva de nível de 50 a 50 metros por cota altimétrica. As classes de declividades seguiram a classificação proposta pela EMBRAPA (1979).

### **1.3.4. Classificação do modelo de vertente sob as feições erosivas**

Para uma melhor compreensão da dinâmica e comportamento das voçorocas analisadas, fez-se um reconhecimento prévio do modelo de vertente sob as cicatrizes erosivas a partir do modelo de Ruhe (1975) (figura 02). Segundo o autor as vertentes podem ser classificadas em retilínea (r), Convexa (cx) ou Côncava (cc). Na própria classificação, o autor

associa que em uma mesma vertente, haverá duas morfologias comportamentais, sendo retilíneo-convexo (r-cx), Convexo-Côncavo (cx-cc), Côncavo-Convexo (cc-cx), entre outros.

**Figura 2** - modelos de vertente proposto por Ruhe (1975)

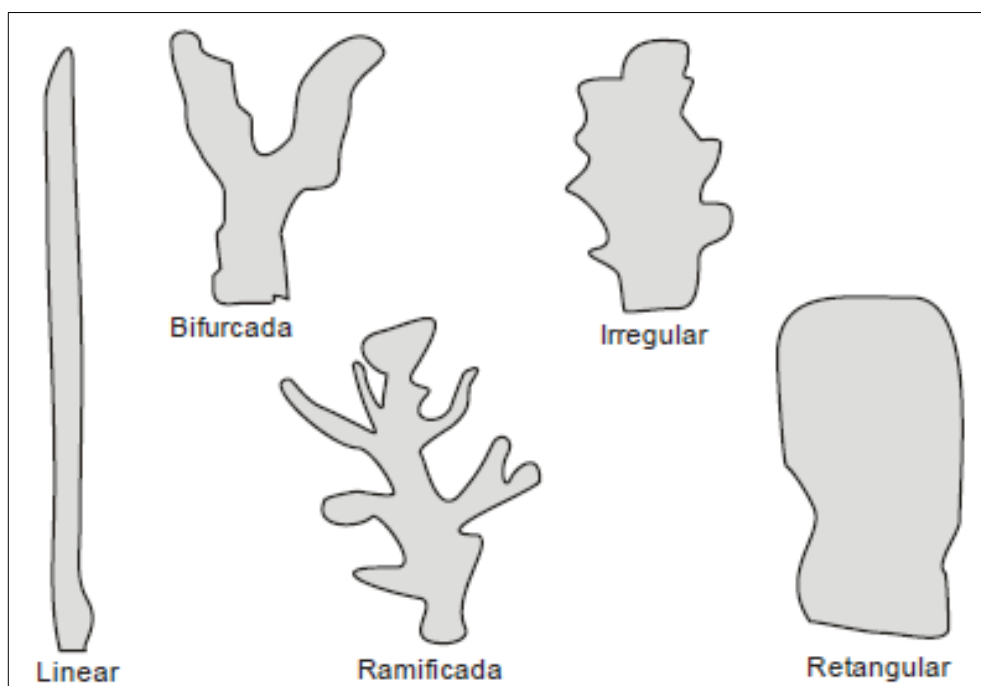


Fonte: RUHE, p. 195, 1975.

### 1.3.5. Classificação da morfologia externa e interna das voçorocas

Através do programa ArcGis 10.1, utilizaram-se as imagens 10S39\_ZN e 11S39\_ZN do projeto TOPODATA da SRTM para a delimitação e classificação prévia da morfologia externa das voçorocas. Como forma de validação, fez-se a atividade de campo para o reconhecimento dos canais secundários e a dimensão total das voçorocas.

As representações morfológicas externas classificadas por Bigarella e Mazuchowski (1985), estão associadas ao padrão de escoamento superficial concentrado. Nas feições lineares, o escoamento forma apenas um fluxo e incisão única, a bifurcada tem-se dois pontos de incisão através do fluxo concentrado, já as feições ramificada e irregular apresentam diversos fluxos concentrados que se convergem em uma única abertura do solo. A feição retangular é a representação evolutiva final das demais feições apresentadas (figura 03).

**Figura 3** - Classificação morfológica de voçorocas

Fonte: Bigarella e Mazuchowski, 1985.

Neste mesmo processo de classificação morfológica externa fez-se a setorização das voçorocas em terço superior (setor de erosão) e terço inferior (setor de acumulação). Como critério para a setorização realizou-se a atividade de campo associada à leitura dos dados morfométricos (comprimento, largura e profundidade dos canais) para classificar a área de predominância erosiva, bem como a área de acúmulo de sedimentos.

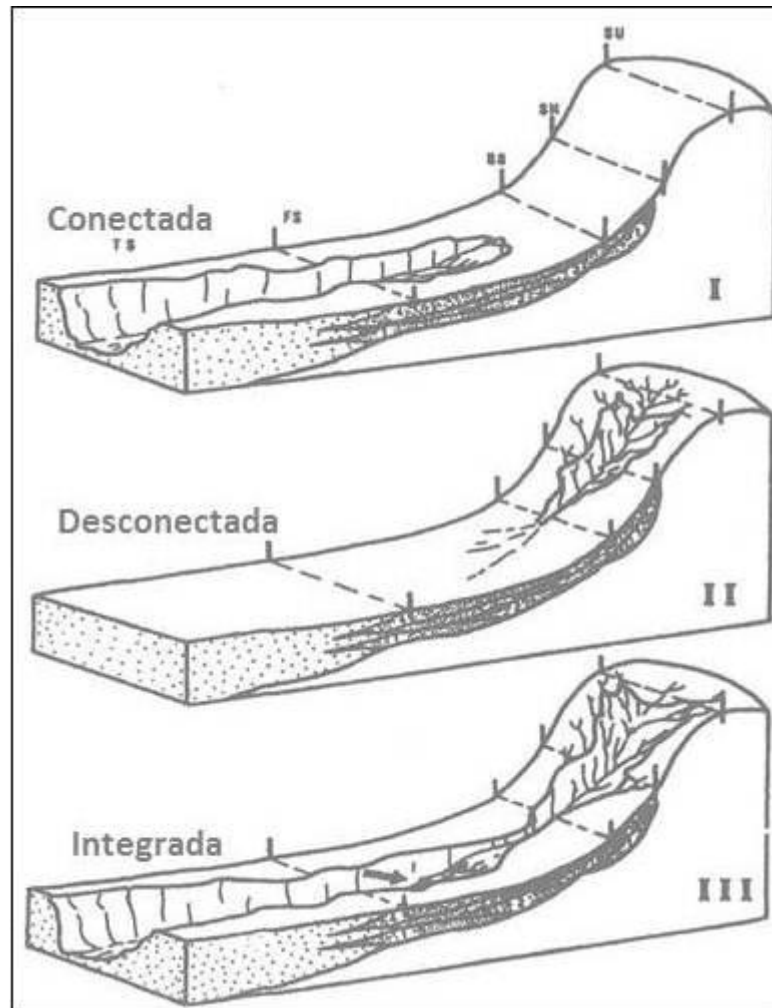
O reconhecimento e classificação das morfologias internas das voçorocas se deu exclusivamente através da atividade de campo, a partir da leitura prévia das abordagens conceituais existentes sobre a descrição de possíveis morfologias já diagnosticadas em sistemas erosivos. As morfologias internas identificadas em campo foram fotografadas, descritas no diário de bordo e registrada sua localização a partir do aparelho GPS.

### 1.3.6. Classificação Tipológica

A partir do mapa altimétrico, foi traçado um perfil longitudinal da vertente para observar previamente a situação das voçorocas sobre a mesma, para assim, analisar seu posicionamento topográfico. Desse modo, para a classificação da tipologia erosiva embasou-se nos estudos de Oliveira (2009) visando determinar a tipologia de uma voçoroca em formato conectado, desconectado e integrado, que dependerá da localização da mesma na vertente, uma vez que, se a voçoroca estiver ligada a rede de drenagem ela é conectada, caso a

voçoroca esteja formada no topo da vertente ela é desconectada. Tendo em vista que a voçoroca já tome toda a vertente fazendo a ligação entre topo e a base (ou ligação com a rede de drenagem), nesse sentido, a voçoroca se constitui na tipologia integrada (figura 04).

**Figura 4** - Classificação de tipologia de voçorocas



Fonte: Oliveira, 2009, p. 83

Para a validação da classificação feita pré-campo, realizou-se atividade de campo na área das voçorocas onde foram feitos registros fotográficos, diário de bordo e marcação de ponto através do aparelho GPS, de modo a validar o posicionamento longitudinal das voçorocas sobre a vertente e determinar sua tipologia.

### 1.3.7. Quantificação dos dados morfométricos e perda de solo (m<sup>3</sup>)

Para a obtenção dos dados morfométricos houve a construção de perfis topográficos (transversais e longitudinais) de todos os canais secundários e no canal principal das 02 voçorocas associando ao trabalho de campo, a fim de se obter os dados métricos (profundidade, comprimento e largura) das voçorocas com a utilização de trena. Para a interpretação das dimensões das voçorocas, os dados de comprimento e largura determinam a área aproximada (comprimento X largura = m<sup>2</sup>).

A partir dos dados métricos obtidos nos perfis, na medição no programa tendo como base o mapa altimétrico e na atividade de campo, foram feitos os cálculos para obter o volume de solo erodido por m<sup>3</sup>. Para a determinação do volume médio erodido, o valor da área foi multiplicado pela profundidade (área X profundidade = m<sup>3</sup>). Através da identificação do volume médio erodido do solo, buscou-se classificar a dimensão do tamanho das voçorocas estudadas através dos parâmetros já estabelecidos por Vieira e Albuquerque (2004) (Tabela 01).

**Tabela 1** - Parâmetro correlativo entre volume médio erodido com o estabelecimento do tamanho da voçoroca

Volume Médio Erodido	Tamanho
Até 999 m <sup>3</sup>	Muito Pequena
De 1.000 até 9.999 m <sup>3</sup>	Pequena
De 10.000 até 19.999 m <sup>3</sup>	Média
De 20.000 até 40.000 m <sup>3</sup>	Grande
> 40.000 m <sup>3</sup>	Muito Grande

Fonte: Vieira e Albuquerque (2004).  
Elaboração: Bismarque Lopes Pinto, 2016.

## 02. EROSÃO, DINÂMICA DE VERTENTES E SISTEMAS DE VOÇOROCAMENTO EM LITOESTRUTURA SEDIMENTAR.

---



Próximidades da área do Buraco do Vento – Tucano/BA.  
*Fonte: Antônio Ilton Souza Santana, 2017.*

**Suprimir os obstáculos não é dar liberdade, mas sim permitir o desregramento,  
que conduz à desestruturação, à monotonia, ao nada...**  
***Liberdade – Pablo Picasso***

## 2.1. APROXIMAÇÕES TEÓRICAS SOBRE A VISÃO SISTÊMICA DA PAISAGEM

O pensamento sistêmico pode ser entendido como uma abordagem metodológica que ainda é recente nos estudos do ambiente. Pensar, analisar e projetar de modo organizacional o espaço, foi o que Ludwig Von Bertalanffy almejou ao criar a Teoria Geral dos Sistemas (TGS).

De acordo com o paradigma da época, traçado por uma abordagem científica pautada no método neopositivista, Bertalanffy (1977) introduz um novo modo de pensar e fazer a ciência. É compreensível que o método sistêmico não se prende somente aos estudos da ciência geográfica, mas sim, percorre diversas ciências da área exata, natural e também social. De modo introdutório, o autor faz referência ao conceito clássico de sistema abordando que:

A teoria geral dos sistemas, portanto é uma ciência geral da “totalidade”, que até agora era considerada um conceito vago, nebuloso e semimetafísico. Em forma elaborada seria uma disciplina lógico-matemática, em si mesma puramente formal, mas aplicável às várias ciências empíricas. (BERTALANFFY, 1977, p. 61).

Corroborando com a ideia da TGS que Bertalanffy expõe, compreende-se que a teoria em questão tem por essência a necessidade de se estudar as ciências de modo geral como uma totalidade a ser pensada e reconstruída, deixando de lado, o aspecto compartimentado que se fazia tão presente no paradigma científico da época.

Sendo assim, a TGS traz como perspectiva constituir-se como uma corrente teórica-metodológica capaz de subsidiar os estudos das diversas correntes científicas (humanas, exatas, naturais), deixando para traz a aparência “nebulosa e vaga”, para trazer assim, uma nova característica na análise integrada dos fenômenos naturais e sociais.

Pensar o ambiente como um sistema não é somente estudar as partes isoladamente, mas sim, organizar, interconectar e unificar as partes que compõe o todo para que assim tenhamos uma base consolidada para resolver determinados problemas que possam surgir ao longo do tempo (BERTALANFFY, 1977). Para Vicente e Perez Filho (2003) o modelo sistêmico nos estudos geográficos aparece diante da necessidade de reflexão do complexo meio natural e suas inter-relações com as ações antropogênicas, de modo que a abordagem pudesse trazer respostas quanto à organização espaço-temporal dos objetos na paisagem.

Os elementos geográficos que estão inseridos na paisagem, bem como seus processos geradores e modeladores é algo eminentemente complexo, para os quais o pensamento



sistêmico configura como uma base metodológica adequada para a análise geográfica. Desse modo:

[...] Embora a análise isolada de cada parte constituinte do sistema possa fornecer informações interessantes, o entendimento da estrutura e funcionamento do sistema não é possível sem que se estude as interações entre os elementos e a organização do sistema como um todo [...] assim, um sistema é formado por subsistemas, ao mesmo tempo que integra outros sistemas de níveis hierárquicos maiores. [...] (MATTOS e PEREZ FILHO, 2004, p. 13)

Na análise sistêmica, a compreensão da estrutura como um todo é crucial para obter informações relevantes na organização dos subsistemas que tecem o sistema maior e seus níveis hierárquicos. Retroalimentando a ideia de sistema enquanto base para a análise global, Capra (1996, p. 46) contribui dialogando que “[...] o pensamento sistêmico é pensamento ‘contextual’, e, uma vez que explicar coisas considerando o seu contexto significa explicá-las considerando o seu meio ambiente, onde pode-se dizer que todo pensamento sistêmico é pensamento ambientalista [...]”.

Pensando nessa perspectiva, a organização e relação dos objetos arranjados na paisagem produz uma unidade complexa ou também entendida como um sistema. Essa ideia de organização “tece” de certa forma um componente ao outro, na tentativa de consolidar um meio organizado (MORIN, 1977). Assim, visando nessa ótica de organização sistêmica, a entrada e a saída de energia ocorrem de forma contínua, mantendo a dinâmica do sistema. A inserção de ações degradantes altera a entrada de energia e matéria gerando flutuações no sistema, o qual pode chegar a um estado crítico levando-o a auto-organização em busca de um novo equilíbrio, o que significa mudança de comportamento do sistema. Corroborando com o que foi dito, vale salientar que:

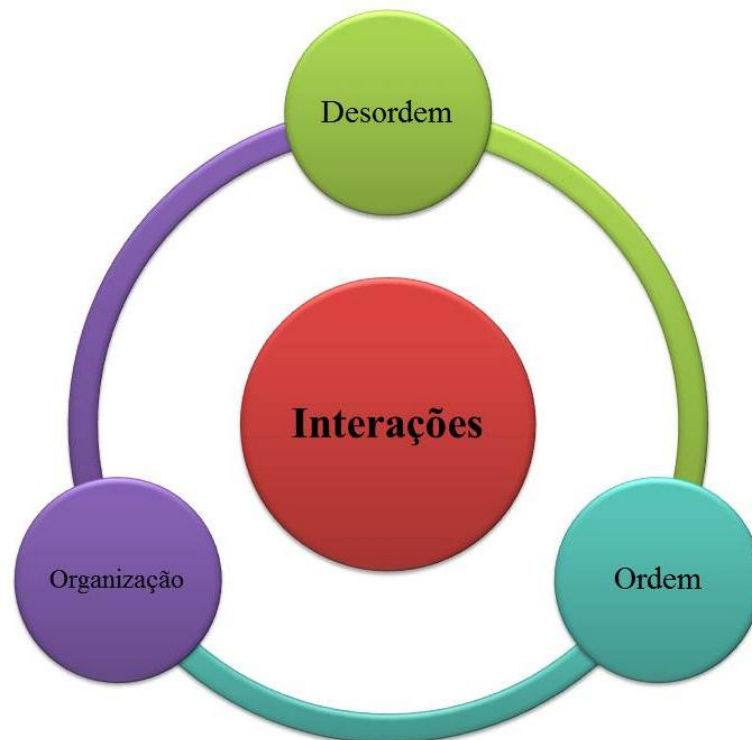
[...] Se em tal estado de instabilidade não for prejudicada totalmente sua capacidade de auto-organização do sistema, haverá um processo de readaptação organizacional em relação às novas condições ambientais (refletindo-se em arranjos estruturais e funcionais) e este poderá atingir um novo estado de estabilidade que ainda não havia experimentado ao longo de sua evolução [...] (MATTOS e PEREZ FILHO, 2004, p. 15).

Analisando o sistema de forma dinâmica e tendo em sua essência, elementos que possuem características particulares, percebe-se que a instabilidade ou não do sistema está intimamente ligada à capacidade de reestruturação. A auto-organização estará associado ao regulamento da entrada e saída de matéria e energia no sistema, de modo que, com a

instabilidade e a estabilização do próprio sistema, o mesmo estará gradativamente alcançando o seu estágio de evolução.

Aliado a essas concepções organizacionais do sistema, pode-se definir que as próprias interações entre os elementos produzem a gênese da ordem e desordem. Ambas as ações agem de condições determinadas e dependentes. Ordem, desordem e organização trabalham sob a lógica de um anel solidário e complexo (figura 05).

**Figura 5** - Esquema lógico do sistema na perspectiva de Edgar Morin.



Fonte: MORIN, 1977, p. 78. Adaptado por: Bismarque Lopes Pinto, 2018.

Sob a dinâmica da aleatoriedade, o sistema atribui na paisagem variabilidades de “ordens” e “desordens” distintas que vai depender de cada característica dos elementos postos a construir o sistema. Essas imposições de vivência em uma mesma paisagem colocam em cheque movimentos naturais de ordenamento e desordenamento a partir da interação de ambos (MORIN, 1977).

A compreensão da dinamicidade do sistema resulta na interpretação da ideia de totalidade trazido por Christofolletti (1999) quando enfatiza a compreensão das partes a partir das suas somatórias dentro de uma unidade complexa. Cabe deixar claro nessa perspectiva que cada parte possui uma totalidade regida por leis próprias que se agregam e se relacionam em um sistema maior.

Desse modo, Santos (2004) aborda o sistema enquanto blocos de organização, que por sua vez, tem-se a compreensão da conexão desses blocos (subsistemas) com base no pensamento 'contextual'. Esse fator contextual versa em compreender a complexidade do sistema pelo viés da rede de relações em um único espaço. Desse modo:

[...] quando percebemos a realidade como uma rede de relações, nossas descrições também formam uma rede interconectada de concepções e de modelos [...] o universo material é visto como uma teia dinâmica de eventos inter-relacionados [...] (SANTOS, 2004, p. 40-41).

Diante de tal dinâmica estruturante presente na formação do sistema, não poderia deixar de inserir o homem como elemento principal na instabilidade do sistema, de modo a evidenciar que a ação antrópica está ligada a supressão da vegetação, erosão dos solos, poluição do manancial hídrico, entre outros, quando a ação humana não é planejada corretamente. Com base nesta concepção, pode-se afirmar que:

[...] A abordagem holística sistêmica é necessária para compreender como as entidades ambientais físicas, por exemplo, expressando-se em organizações espaciais, se estruturam e funcionam como diferentes unidades complexas em si mesmas e na hierarquia de aninhamento [...] a significância e a valorização a respeito do meio ambiente estão relacionados com a visão de mundo imperante em cada civilização, apresentando inclusive nuances em seus segmentos socioeconômicos [...]. (CHRISTOFOLETTI, 1999, p. 01)

Para Christofolletti, é necessário que cada entidade do meio físico possa estudar a complexidade da totalidade, mas para isso faz-se necessário valorizar o meio ambiente e sua conexão com a civilização, ou seja, com as especificidades sociais, culturais e econômicas de cada local. Christofolletti (1987) traz uma contribuição estabelecendo essa interconexão entre o pensamento sistêmico e a ciência geomorfológica dizendo que:

A abordagem sistêmica surge como plenamente adequada à análise geomorfológica, pois considera que um sistema é constituído por um conjunto de elementos interconectados que funcionam compondo uma complexa entidade integrada. Nos sistemas geomorfológicos, as partes constituintes são representadas pelas formas topográficas, integradas pela ação dos processos morfológicos, enquanto os condicionamentos ambientais são representados pela dinâmica atmosférica e fatores da geodinâmica terrestre. (CHRISTOFOLLETTI, 1987, p. 121)

A partir dessa primeira visão de Christofolletti sobre sistema, o autor faz ressalvas ao processo de construção da concepção sistêmica nos estudos geográficos. De acordo com Christofolletti (1979) os estudos sistêmicos devem estar claramente definidos e quais

elementos serão investigados e relacionados no estudo, ou quais as variáveis da interação dos subsistemas.

Ter a plena noção da estrutura do sistema proposto para o estudo se torna algo elementar tendo em vista que o seu tamanho, correlação ou causalidade são características chaves para o entendimento do sistema. O tamanho refere-se à dimensão espacial de cada unidade a qual irá compor o sistema analisado. A correlação pressupõe as variáveis das interações entre as unidades dentro do sistema e a causalidade é “mostra qual é a variável independente, a variável que controla, e a dependente, aquela que é controlada, de modo que a última só sofre modificações se a primeira alterar” (CHRISTOFOLETTI, 1979, p. 03).

Vale ressaltar que, num sistema, a representação de equilíbrio é algo completamente dinâmico. Não há sistema que apresente o status de estabilidade a todo o momento, até porque para haver a sua evolução se faz necessário ocasionar momentos de desequilíbrios para que os processos de troca de matéria e energia ocorram. Essa percepção de variabilidade vai de acordo com a escala de tempo a qual adota-se quando se analisa um sistema (CHRISTOFOLETTI, 1979).

Sob o viés sistêmico, a paisagem conquista seu espaço gradativamente no âmbito da Ciência Geográfica. Sua gênese está relacionada em meados do século XIX na escola alemã de Von Humbolt. A “*landschafft*” era empregada inicialmente para os estudos das artes, ou seja, para entender o visível (NUCCI, 2007).

Essa conotação estática da paisagem estava intimamente ligada a corrente filosófica do positivismo que predominava na escola geográfica alemã onde o conceito em questão era visto como um instrumento de enxergar as faces materiais do mundo tais como as realidades físicas e as atividades humanas de forma quantitativa (SCHIER, 2003).

A própria divisão da Geografia em duas subáreas de conhecimento (física e humana), influenciou no desenvolvimento do conceito de paisagem. Enquanto a Geografia Humana se preocupava em entender a paisagem como uma abordagem de leitura das manifestações culturais e sociais, a Geografia Física pendia suas análises para os aspectos fisiológicos e morfológicos dos elementos naturais que organizavam a paisagem (SCHIER, 2003).

Ampliando a questão teórica:

O conceito de paisagem geográfica foi desenvolvido, inicialmente, com a intenção de ser um conceito totalizante e transdisciplinar, no qual a identidade de uma paisagem não ocorreria apenas por uma mera sobreposição lógico-matemática entre as esferas naturais e culturais, mas antes, a paisagem seria o resultado de uma conexão entre as várias esferas (VITTE, 2007, p. 75)

De fato, a paisagem desenvolve-se na geografia de forma dual e com o caráter totalizante na perspectiva de tentar atender a uma demanda conceitual em ambos os lados de estudos (físico e humano), porém, essa ideia de alcançar a totalidade nos discursos geográficos vem sofrendo algumas adequações, pois cada pesquisa, dependendo de seu objetivo, vai priorizar uma forma de ler a paisagem bem como selecionar os elementos que ganharão destaque em suas análises paisagísticas. Corroborando com a ideia exposta, observa-se que:

[...] Para uns a paisagem é vista como uma fisionomia caracterizada por formas e o seu estudo recorre basicamente ao método morfológico. É a posição defendida por Brunhes e alguns alemães como Schluter e Passarge, tendo passado da Alemanha para a escola de Berkeley onde Sauer se aplica no estudo da 'morfologia da paisagem' [...] o método morfológico divide a estrutura da unidade de observação em elementos constituintes, as formas, que são examinadas pela sua função, origem e evolução classificando-as numa sequência de desenvolvimento e percebendo a contribuição individual e dos conjuntos para o total [...] (SALGUEIRO, 2001, p. 41).

A escola alemã de Geografia é considerada a todo o momento como a responsável em apreender o conceito de Paisagem sob o viés do estudo morfológico tendo em vista a necessidade de se organizar a priori as estruturas das unidades complexas. Atrelado a esse pensamento, a Paisagem na perspectiva de Polette (1999) é considerada como um instrumento de organização do território e responsável em estruturar as unidades complexas no espaço de modo a desenvolver uma interação holisticamente entre os processos naturais e as atividades humanas.

Cabe ressaltar que os estudos da paisagem, dentro da Geografia Física, enveredaram por caminhos específicos capazes de desenvolver estudos diferenciados em alguns aspectos. A visão difundida no final do século XX foi a concepção de Geossistema trazida por Bertrand e desenvolvida inicialmente por Sothava na escola russa de Geografia:

A paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É, em uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução. A dialética tipo-indivíduo é próprio fundamento do método de pesquisa (BERTRAND, 2004, p. 141)

A noção de paisagem proposta por Bertrand a partir da definição de geossistema traz a tona a ideia de holisticidade na análise dos elementos naturais e antrópicos que compõe o

visível. Essa concepção é amplamente discutida e reabre o debate sobre perceber a paisagem de forma integrada e processual, e não estática como se tinha anteriormente.

Ainda para Bertrand (2004), a paisagem é vista como um sistema energético de intensa transformação nas mais variadas esferas (química, física, biológica). Ao atentar-se para essa questão, Bertrand desmembra a paisagem do viés estático e passa a dar dinamicidade ao conceito. Outra linha significativa de estudo da paisagem está vinculada aos estudos de Aziz Ab'Saber no Brasil. O termo Fisiologia da Paisagem (AB'SÁBER, 1969) tem como objetivo de aplicar tal conceito a estudos específicos dentro da Geografia Física:

[...] os estudos sobre a fisiologia da paisagem têm que se pautar por séries de informes prolongados, obtidos em todos os tipos de tempo mais representativos para a área e incluindo observações realizadas em momentos críticos para a atividade morfogenética. Em muitos aspectos as observações sobre a epiderme da paisagem constituem modalidades de pesquisa, em grande parte aparentadas com as técnicas da geologia de superfície, através das quais observam fatos *estáticos* (cortes, afloramentos, solos superpostos), visando compreender a dinâmica do passado recente. No caso a situação é estática e pode ser estudada em qualquer tempo; a preocupação é a de entender uma paleo dinâmica a custa de fatos, todos predominantemente dedutivos. Enquanto que as pesquisas sobre a *morfologia da paisagem* são modalidades de pesquisa em situações efetivamente dinâmicas [...] (AB'SÁBER, 1969, p. 03-04)

Para Ab'Saber (1969), é necessário deixar claro que ao estudar a morfologia da paisagem, estuda-se os processos morfogenéticos numa questão processual e atual ao contrário da fisiologia da paisagem a qual foi baseada na análise estática-pontual ao longo do tempo geológico.

A visão fisiológica da paisagem significa ler o espaço a partir de elementos naturais e suas influências pretéritas e atuais no contexto local, ou seja, compreender o ritmo climático, processos hidrodinâmicos, biológicos e erosivos numa escala de tempo geológica que favoreceram na formação atual das paisagens. (AB'SÁBER, 1969).

O termo Geoecologia das Paisagens é outro viés de estudo paisagístico trazido por Rodriguez *et. al.* (2013) que tem influência direta da escola geográfica soviética de Sotchava e visa um estudo da paisagem a partir da visão integrada e holística, porém com ressalvas quanto às suas técnicas de análises, uma vez que:

A partir da visão sistêmica, concebe-se a paisagem como um sistema integrado, no qual cada componente isolado não possui propriedades integradoras. Estas propriedades integradoras somente desenvolvem-se quando estuda-se a paisagem como um sistema total. Os enfoques e métodos de análise da paisagem podem ser concebidos através dos princípios estrutural, funcional, dinâmico-evolutivo e histórico-transformativo [...] (RODRIGUEZ *et. al.*, 2013, p. 47).

A abordagem sistêmica se torna visível e fundamental na análise da Geoecologia da Paisagem, contudo, para além da concepção integrada vista pelos autores, o novo termo atribuído ao estudo do conceito visa um leque de caminhos metodológicos capazes de ler a paisagem sob diferentes faces que ela possui. Estas análises estruturais, funcionais e dinâmico-evolutivo visa uma leitura da paisagem a partir dos processos de elaboração dos sistemas geomorfológicos e pedológicos através da morfogênese e pedogênese ou como também os processos de ciclos climáticos globais que contribuem para o remodelamento da paisagem.

A visão dinâmica-evolutiva pode ser entendido como a progressão e regressão dos tecidos vegetacionais bem como os processos erosivos que modificam a paisagem a todo momento. E por fim, o fator histórico-transformativo está ligado diretamente às atividades humanas que contribuem para o modelamento da paisagem. Concordando com essas questões, ressalta-se que:

Cada uma das unidades das paisagens caracteriza-se por uma determinada interação entre os componentes naturais, no qual origina-se o processo de desenvolvimento. Isto determina a homogeneidade relativa de suas propriedades naturais e a estabilidade das inter-relações estruturais. A propriedade mais importante do complexo individual é a unicidade relativa de sua estrutura, tanto morfológica como funcional; do caráter das inter-relações e interações entre os componentes naturais. Portanto, para cada complexo individual é característico um sistema individual, inter-relacionado com unidades tipológicas [...] (RODRIGUEZ *et. al*, 2013, p. 68).

É crucial que no estudo da paisagem seja levado em consideração a suas unidades. Cada compartimentação traz consigo significados e comportamento heterogêneo que auxiliam na compreensão da formação da paisagem local. Essas interações podem ser feitas entre os elementos naturais e as atividades humanas. Para Rodriguez *et. al*. (2013) a paisagem local deve ser compreendida a partir do autodesenvolvimento do sistema interno atrelado aos fatores globais que de certa forma contribuem na entrada de matéria e energia do subsistema local. Desse modo:

A paisagem, como qualquer sistema material é propícia a mudanças. O enfoque evolutivo-dinâmico consiste em esclarecer as leis e regularidades do desenvolvimento do território. Qualquer território, independentemente da forma de ocorrência, como consequência de causas internas e externas, experimenta um processo contínuo de desenvolvimento que acompanha as modificações de suas partes estruturais. (RODRIGUEZ *et. al*, 2013, p. 142).

Frisa-se que, o contexto geocológico da paisagem é o que a paisagem está em constante evolução ao longo do tempo geológico ou antrópico. Esse viés deixa bem claro a dinamicidade dos elementos que compõem o espaço de modo a entender que o seu próprio desenvolvimento natural irá induzir nas ações antropogênicas que serão firmadas naquele espaço geográfico.

Em suma, a paisagem assim como os demais conceitos geográficos, vem passando por uma série de ressignificações que visam a atender uma demanda de estudos que procuram enxergar tal conceito como algo a ser olhado por suas diversas faces. Ler a paisagem não é um exercício fácil nem tão pouco simplório, uma vez que, cabe ao pesquisador direcionar seu pensamento a qual ele deseja enxergar da paisagem e a partir daí desdobrar suas visões em prol de um entendimento uno, local e complexo do todo paisagístico.

## **2.2. PROCESSOS ASSOCIADOS À DINÂMICA DE VERTENTES**

Os processos morfogenéticos são responsáveis pela esculturação do relevo em diversas escalas, promovendo assim, a modificação morfológica da paisagem, gerando formas de vertentes associada aos fatores endógenos e exógenos que contribuem para a esculturação. Inicialmente, a vertente é definida como “superfície inclinada, não horizontal [...] sendo formada pela ampla variedade de condições internas e externas [...]” (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Nessa perspectiva, a vertente é vista de forma abrangente como qualquer superfície inclinada na paisagem a qual está sujeita aos agentes internos e externos que controlam sua esculturação. Bigarella *et al.* (2007) enfatiza a necessidade de avaliarmos a vertente como resultado dos processos de deposição desde as fases de produção de detritos, nos momentos de desnudação das rochas expostas, até os processos de remoção e relocação desses detritos que são levados para outros setores do ambiente e esculpem novas vertentes.

Interessante observar que tais movimentos de desnudação, transporte e deposição estão estritamente subordinados as mudanças climáticas do ambiente, e que condicionam desde as mudanças dos níveis de base até as feições da vertente (BIGARELLA, *et al.*, 2007). Dentro dessa concepção, Penteado (1980) esclarece que as condições morfoclimáticas do ambiente irão dar subsídios na formação das vertentes da estrutura geomorfológica local através da correlação entre estrutura (litologia) e processos atuantes.

Os processos de desnudação são fundamentais na esculturação inicial da vertente tendo em vista que sua ação remove os detritos que desencadeiam o processo de modelagem



da vertente fazendo com que o intemperismo atue de modo vertical na rocha adjacente. Esses detritos retirados pela desnudação formam os bolsões aluviais na base da vertente. O carreamento lento dos detritos para base da vertente acaba provocando incisões erosivas na vertente, auxiliando na esculturação da mesma (PENTEADO, 1980). Com base nisto:

A vertente apresenta alta complexidade em seu funcionamento. Dentre as contribuições destinadas a elucidá-la, duas abordagens merecem ser salientadas, o conceito de balanço morfogenético e a dinâmica das vertentes como sistema aberto (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 58)

O referido autor identifica na vertente dois princípios básicos para o seu entendimento, sendo estes o conceito de balanço morfogenético e a dinâmica de vertentes. Nesse sentido, tem-se o de balanço morfogenético a partir da quantificação e identificação dos processos de meteorização e consolidação da pedogênese em forma de regolito sobre a vertente. Outro aspecto analisado são os movimentos gravitacionais de massa (remoção do regolito), escoamento hídrico e atuação eólica na retirada ou deposição dos detritos transportados (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A partir da compreensão da vertente como um sistema aberto fica concretizado a ideia de dinamicidade apresentada autor ao avaliar o elemento como sistema receptor de matéria e energia dos outros sistemas ambientais. Essa dinamicidade de matéria e energia tanto no input como no output do sistema vertente, contruibuem para a sua modelagem proporcionando fases diferenciadas de evolução (CHRISTOFOLETTI, 1980).

O sistema vertente comporta-se de diversas formas na paisagem, variando sua configuração de acordo com uma série de interferências externas e internas. As modificações no relevo proporcionam alterações e sequências evolutivas no sistema solo, provocando modificações e alterações de classe ao longo do próprio relevo, uma vez que:

Os solos variam com as condições ambientais (clima, organismos, material de origem e tempo), numa escala continental ou local. É comum a diferença entre os solos de elevações e os de baixadas (terraços e leitos menores). Neste contexto, o relevo se inclui como parte do solo (RESENDE *et. al.*, 2007, p. 27).

As condições fisiográficas locais do relevo podem influenciar para além das alterações de classe de solo em um curto espaço físico como também proporcionar diferentes condições de drenagem na medida em que o relevo influencia na dispersão da granulometria ao longo dos perfis bem como as condições de microclima, favorecendo assim, as suas condições térmicas bem como o remodelamento vegetal que irá surgir sobre o seu sistema (PALMIERI e LARACH, 2004).

A vertente se constitui como elemento crucial para a identificação de paleoambientes associado a dinâmica evolutiva do relevo a partir da atuação dos fenômenos de regulação e esculturação da vertente, a erosão e sedimentação. Outro fator está relacionado à dinâmica bio-resistásica no panorama do equilíbrio dinâmico do ambiente que aborda questões relevantes da atuação dos condicionantes ambientais para a estabilização (biostasia) ou desestabilização (resistasia) da vertente (CHRISTOFOLETTI, 1980).

## 2.3. MECANISMOS E FATORES DE FORMAÇÃO NA EROSÃO DOS SOLOS

### 2.3.1. Classificação das feições erosivas: Sulcos, Ravinas e Voçorocas

O fenômeno da erosão dos solos se constitui como processo de degradação mais pertinente ao longo da formação das civilizações. A necessidade do estabelecimento de sistemas de agricultura sem conhecimento prévio das variáveis ambientais trouxeram momentos de desestabilizações econômicas e ambientais por conta da perda de solos agricultáveis.

As primeiras civilizações instaladas as margens dos rios Tigres e Eufrates foram as que mais sofreram prejuízos em sua agricultura em consequência do aparecimento dos processos erosivos atrelados às técnicas de irrigação irregulares. As técnicas de terraceamento surgiram ainda na Grécia e posteriormente utilizadas pelas antigas civilizações andinas, as quais serviram para ter um bom desenvolvimento da agricultura sem necessariamente haver uma perda de solo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010).

O conceito de erosão vem sendo discutido e reelaborado por diversos autores que a partir de realidades ambientais distintas, acrescentam denominações significativas que melhor esclarece o processo de formação e desenvolvimento de tal fenômeno. Inicialmente, Bigarella *et al.* (2007) aponta que a gênese erosiva está associada aos diversos processos que desgastam a camada superficial do solo e promovem o seu arraste desses minerais desprendidos. Baseado nessa concepção, é estabelecido que:

A erosão dos solos é um processo que ocorre duas fases: uma que constitui a remoção (*detachment*) de partículas, e outra que é o transporte desse material, efetuado pelos agentes erosivos. Quando não há energia suficiente para continuar ocorrendo o transporte, uma terceira fase acontece, que é a deposição desse material transportado [...] (GUERRA, 2011, p. 165).

É de pleno consenso que o processo inicial da erosão está ligado ao ciclo hidrológico, ou seja, à precipitação pluviométrica e suas características são cruciais para a compreensão do

processo erosivo. Os eventos chuvosos sejam em longos períodos ou torrenciais, contribuem de modo diferencial para a geração da erosão na paisagem (GUERRA, 2011; BIGARELLA *et. al.*, 2007).

O impacto da gota da chuva no solo faz desencadear o processo da erosão, sendo o efeito *splash* a primeira ação da energia cinética da gota da chuva que ao atingir o solo, inicia a remoção e desestabilização dos agregados do solo. A partir da remoção de partículas do solo, o processo erosivo impulsionado pela energia cinética da chuva, ganha proporção através dos condicionamentos de inclinação do talude até ocasionar os diversos escoamentos (GUERRA, 2009; CARVALHO *et. al.*, 2006), sendo assim:

Erosão laminar, ou lavagem superficial, é a uniforme remoção de uma delgada camada superior de todo o terreno. Ao colidirem com a superfície do solo desnudo, as gotas da chuva rompem os agregados, reduzindo-os a partículas menores, passíveis de serem arrastadas pela força das enxurradas [...] (LEPSCH, 2002, p. 155).

A erosão em lençol também conhecida como erosão laminar é o primeiro estágio de escoamento superficial dando continuidade ao processo de remoção causado pelo efeito *splash*. De acordo com os autores, o impacto das gotas das chuvas faz com que a água promova uma lâmina d'água, mesmo que sem concentração a fluxo único, fazendo o arraste generalizado dos agregados do solo terreno abaixo (BIGARELLA *et. al.*, 2007).

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2010), a erosão laminar é a mais alarmante, pois acaba se tornando imperceptível na paisagem fazendo com que toneladas de solo venham a ser removidos implicando na fertilidade do solo ao remover os horizontes O e A, responsáveis pelo armazenamento da maioria da matéria orgânica do solo. Esse modelo de erosão está associado a períodos de chuvas de enxurradas onde as precipitações são concentradas em um curto período de tempo, até por que:

[...] No escoamento difuso existe uma relação entre os obstáculos e a lâmina de água, não interessando o grau de energia e nem sua amplitude. A lâmina deve possuir uma espessura mínima para não romper a continuidade espacial do escoamento. Este relaciona-se diretamente com a inclinação da vertente. Quanto maior a declividade, tanto maior a velocidade da água e a turbulência que podem desagregar a lâmina de água. No escoamento laminar filetiforme, o fluxo separa-se em filetes paralelos ou anastomosados devido à presença de obstáculos, onde surgem turbulências e vórtices que podem provocar erosão (BIGARELLA *et. al.*, 2007, p. 892).

Na ocorrência do escoamento laminar, o fator declividade além de irregularidades no terreno contribuem para a quebra do lençol d'água que é feito inicialmente. A ruptura feita

pelos obstáculos ao longo do percurso começa a criar fluxos em filetes concentrados de modo a iniciar pequenas incisões retilíneas ou não (BIGARELLA et. al., 2007; GUERRA, 2011).

O escoamento superficial concentrado pode ser rapidamente estabelecido em áreas consideradas agrícolas onde a vegetação natural já foi retirada e não possui mais a proteção natural do solo, que seria a copa e o sistema radicular das árvores. Sem a cobertura vegetal, a energia cinética da chuva não é interrompida e consequentemente, o período de evolução da erosão laminar para o escoamento de fluxo concentrado é bem menor (GUERRA, 2011). O primeiro estágio do fluxo concentrado é o que se denomina de sulcos, sendo o resultado de:

[...] irregularidades na superfície do solo devido à concentração da enxurrada em determinados locais. Em algumas encostas, a água que escorre de pequenos sulcos converge para outros, mais acentuados. Concentrando-se, ano após ano, nos mesmos sulcos, estes vão se ampliando, até formar grande cavidades ramificadas [...] (LEPSCH, 2002, p. 155).

O fluxo concentrado promove uma sequência de aberturas no solo onde a água que vem sendo carregada vertente abaixo, é direcionada para esses riscos na camada superficial do solo, fazendo com que essa mesma água retire cada vez mais os sedimentos dos horizontes do solo, promovendo o afundamento significativo na encosta (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010).

Quando a camada d'água promove o arraste e a incisão concentrada em um único fluxo, é de se esperar que a matéria orgânica seja retirada e transportada para outro local. A matéria orgânica junto com outros componentes pedológicos são responsáveis em manter o equilíbrio dos agregados do solo. Quando há a abertura em sulcos, começa a desestabilização da cobertura pedológica (GUERRA, 2009; CARVALHO et. al., 2006). Deste modo:

À medida que os agregados se rompem no topo do solo, vai ocorrendo a formação de crostas, que eventualmente provocarão a selagem dos solos. Esse processo é responsável pela diminuição das taxas de infiltração e, consequentemente, aumentam as taxas de escoamento superficial, podendo aumentar a perda de solo (GUERRA, 2009, p. 22).

O rompimento da estabilidade dos agregados promove no solo, a formação de crostas que nada mais são do que a desagregação da camada superficial interferindo no processo natural de infiltração da água, causando a selagem do solo. É a partir dessa formação de crostas pela erosão *splash*, que o fluxo concentrado em sulcos começa a se formar (GUERRA, 2009).

Segundo a classificação de Carvalho et. al. (2006, p. 53), os sulcos possuem uma geometria em formato de “pequenos canais, de até 10 cm de profundidade, gerados pela

concentração do escoamento superficial [...]”. De acordo com os autores, quando as incisões erosivas são superiores a profundidade de 10 cm, a erosão muda de estágio e avança para o nível das ravinas, influenciando:

O desenvolvimento de microrravinas é o terceiro estágio de evolução do escoamento superficial no processo de formação de ravinas. Nesse caso, a maior parte da água que escoar em superfície está concentrada em canais bem definidos, embora ainda sejam bem pequenos. A turbulência do fluxo aumenta bastante nesse estágio, que já encontra o fundo das ravinas que estão se formando (daí o termo microrravina), com algumas ondulações, ou rugosidades, advindas do estágio anterior – fluxo linear (GUERRA, 2009, p. 32).

As microrravinas descritas por Guerra (2009) são o estágio de transição da erosão de sulcos para as ravinas. Nas microrravinas, o fluxo da água antes anastomosado e assimétrico agora vai se ajustando para um fluxo retilíneo apesar da formação de ondulações na corrente de água por conta do ajuste no interior do fluxo erosivo. A partir dessa transição, a ravina chega ao seu estágio pleno.

Para Bigarella *et. al.* (2007, p. 923) “[...] a erosão em ravina consiste na remoção, a montante, de solos e materiais alterados, com formação de canais pelo fluxo de água concentrado [...]”. Ainda nesta mesma linha de definição, as ravinas (CARVALHO *et. al.*, 2006) são classificadas a uma profundidade de até 50 cm tendo em vista que até o estágio da ravina, ainda se tem uma certa estabilidade da vertente e possibilidades concretas de recuperação.

O último estágio do processo erosivo, a formação de voçorocas, possui diversas definições e morfologias que explicam com maior clareza seu desenvolvimento na vertente. A *Soil Science Society of America* (2008) introduz o conceito dizendo que as voçorocas são incisões profundas e estreitas com no mínimo 50 cm de profundidade e máximo 30 metros. De acordo com Bigarella *et. al.* (2007), as formações das voçorocas, também entendido como “boçorocas”, são feições provocadas por enxurradas de grande intensidade. Sendo assim, o referido autor ainda classifica que:

A voçoroca constitui um canal de drenagem de paredes abruptas, com fluxos efêmeros ou, eventualmente, pequenos. A erosão geralmente é intensa. Termina numa cabeceira extremamente íngreme e escarpada. As voçorocas atuais formaram-se onde as águas se concentram pela ação do homem [...] (BIGARELLA *et. al.*, 2007, p. 929).

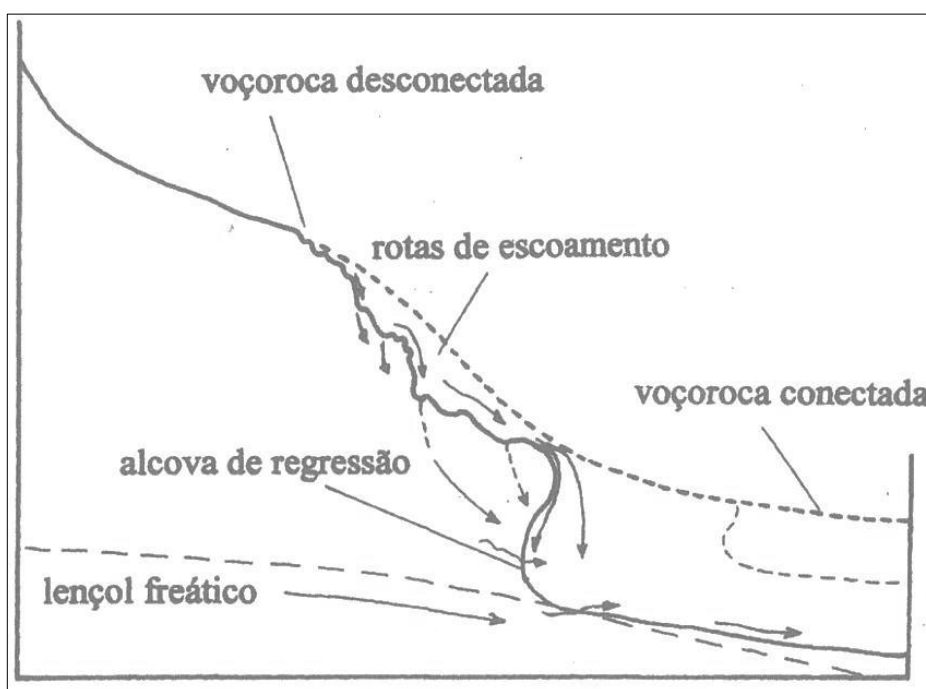
A classificação trazida por Bigarella resulta na fase inicial onde as voçorocas ainda estão em evolução, possuindo vertentes íngremes em forma de “V”. A classificação proposta pelo autor não deixa preciso à dimensão da profundidade, podendo variar de acordo com o

material pedológico. Para Guerra (2011), a feição da voçoroca possui essa continuidade de aprofundamento em formato de “V” até chegar ao lençol freático.

Vieira (2008, p. 53) salienta que as voçorocas também podem se comportar como uma “[...] incisão erosiva que apresenta queda em bloco das camadas do solo, paredes verticais e fundo plano, formando secção transversal em U e profundidade superior a 1,5 m”. Essa variabilidade da feição se dá pela evolução erosiva através da retirada dos sedimentos e alargamento das laterais.

A mudança morfológica de formato em “V” para formato em “U” está associado aos mecanismos de evolução das voçorocas, uma vez que no processo de avanço do fluxo superficial concentrado, os materiais pouco coesos localizados na cabeceira das voçorocas são retirados através da formação de alcovas de regressão que vão promovendo aberturas e formação de degraus a montante da feição erosiva (figura 06) (OLIVEIRA, 2009; VIEIRA, 2008).

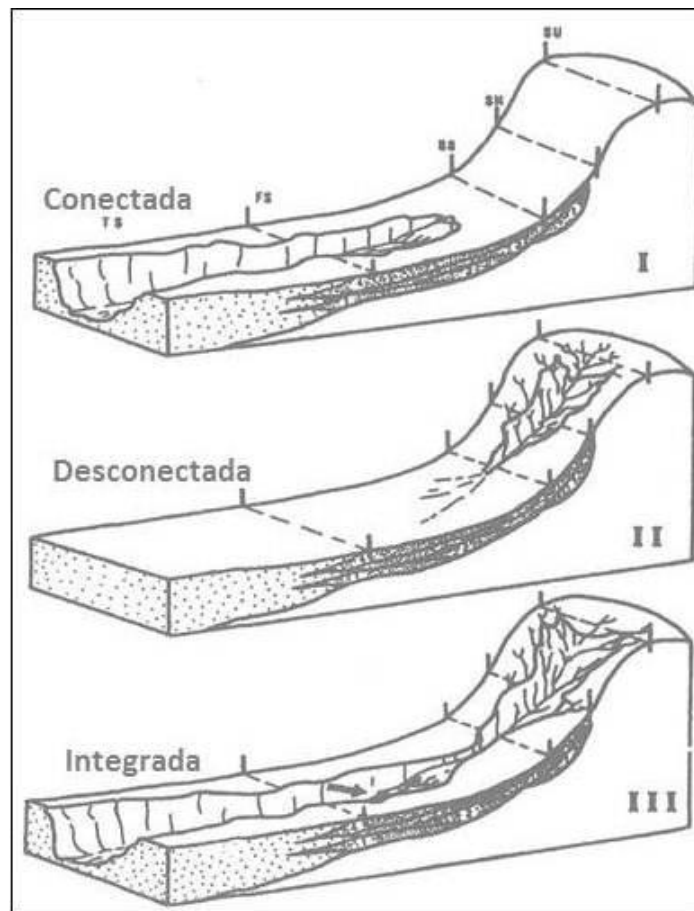
**Figura 6** - Simulação da mudança de classificação de voçoroca conectada para desconectada através da atuação da alcova de regressão na cabeceira da voçoroca provocando o alargamento da mesma



Fonte: OLIVEIRA, 2009, p. 84.

O aparecimento das alcovas de regressão contribui para o alargamento das vertentes bem como na mudança estrutural que são classificadas entre desconectadas, conectadas e integradas. De acordo com Vieira (2008) as voçorocas do tipo conectadas (figura 07) possuem um comprimento curto e um fluxo concentrado subterrâneo além de se formarem na parte inferior da vertente.

**Figura 7** - Perfil demonstrativo da classificação de tipologia de voçorocas


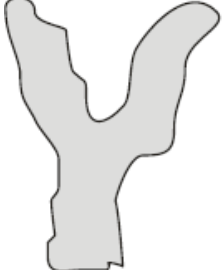
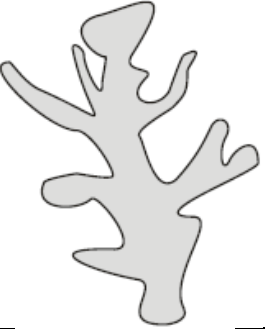

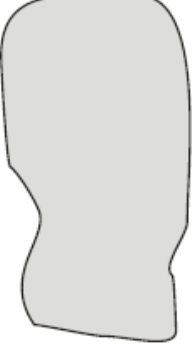


Fonte: OLIVEIRA, 2009, p 82.

As voçorocas desconectadas são atribuídas as feições erosivas que localizam-se na parte superior da vertente com a presença de movimentos de blocos. Normalmente as feições desconectadas são as voçorocas no estágio inicial. As voçorocas integradas é a junção dos mecanismos evolutivos das duas classificações anteriores tendo em vista que, nesse caso, a voçoroca já se estende em toda a vertente além de possuir a conexão com a rede de drenagem (OLIVEIRA, 2009; VIEIRA, 2008).

Além dessa classificação das voçorocas relacionada à sua evolução, os fluxos superficiais concentrados e os fatores ambientais (solo e relevo) também condicionam morfologias diferenciadas. De acordo com Vieira (2008) as morfologias se classificam em linear, bifurcada, ramificada, irregular e retangular (quadro 01).

**Quadro 1** - Descrição conceitual das feições morfológicas de voçorocas

Linear	[...] a forma linear estaria ligada à existência de uma zona principal de convergência de drenagem, influenciada ainda pelas características de resistência e/ou ocorrência de controle estrutural evidente [...]	
Bifurcada	[...] a bifurcada apresenta duas zonas de contribuição de fluxos superficiais concentrados [...]	
Ramificada	[...] a ramificada se caracteriza pela ocorrência de vários canais de drenagem superficiais ocorrendo geralmente em solo do tipo Espodossolo ou em outros solos onde a declividade do terreno é relativamente baixa [...]	
Irregular	[...] a irregular pode estar ligada à existência de um ou mais fluxos superficiais concentrados, caracterizando-se como transitória entre as outras formas existentes [...]	
Retangular	[...] a retangular pode ser, em alguns casos, a forma final da expansão de uma das outras formas descritas [...]	

Elaboração: O autor. Fonte: VIEIRA, 2008, p. 56.



Todas essas morfologias trazidas pelo autor possuem uma uniformidade ao estarem ligadas sempre a um escoamento superficial concentrado ou mais de um, a qual vai carregando o material pedológico e formando as feições morfológicas trazidas no quadro 01. Os fatores solo e relevo também podem influenciar na morfologia, induzindo desde a dimensão e energia cinética que o fluxo concentrado venha a tomar até a capacidade de resistência do material pedológico a se desagregar.

Associado às morfologias e as composições estruturais das voçorocas, no ambiente em que se instalam as formas erosivas, outras feições acabam se agrupando ao processo erosivo que explicam melhor como ocorreu a gênese e desenvolvimento da erosão. As formações de pedestais (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010) são características de ambientes erosivos, pois sua formação se dá quando há o processo inicial de erosão por salpicamento e todos os materiais das laterais são removidos pelo escoamento laminar, deixando de forma isolada, torrões de solos isolados que resistiram ao efeito inicial do *splash* e do carregamento laminar.

Em solos onde possuem desequilíbrios em sua estrutura físico-química, há a presença de pináculos no fundo ou nas laterais das feições de voçorocas. A feição de pináculo está associada à formação de “[...] sulcos verticais profundos nas voçorocas. Uma camada de solo resistente, ou cascalhos e pedras, muitas vezes encabeçam a parte superior dos pináculos [...]” (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010, p. 78). Ainda nas paredes das voçorocas, pode-se encontrar a formação de escamamentos que são resultados do “[...] acúmulo de material fino (areia fina ou muito fina) sobre superfície mais resistente [...]” (VIEIRA, 2008, p. 61).

As formações de dutos ou macroporos no fundo ou nas laterais das voçorocas, além de ser um indicador de desequilíbrio da área levando a ampliação da voçoroca, também denuncia o escoamento subsuperficial. O processo em questão, são canais de grandes dimensões que são formados sob condições específicas de solo além da variável quantidade de água em movimento que é precipitado no evento chuvoso (VIEIRA, 2008; GUERRA, 2011).

O escoamento subsuperficial é formado a partir do rompimento hidráulico causando o escoamento concentrado nas camadas inferiores do solo. Esse fluxo vai escavando ao longo do seu percurso, propiciando a eclosão das feições de voçorocas nessas áreas (CARVALHO *et. al.*, 2006; GUERRA, 2011).

### 2.3.2. Fator Precipitação (Chuva)

O fator erosividade é destinado a todas as características envolvendo o elemento chuva na equação universal de perda do solo. As águas provenientes das chuvas possuem a energia cinética inicial para o desenvolvimento de qualquer processo erosivo, seja ele por fluxo linear ou difuso. O impulsionamento dado pela chuva inicial atrelado a diversos fatores da erodibilidade encarregará na paisagem à formação de incisões erosivas (BIGARELLA *et. al*, 2007; GUERRA, 2011).

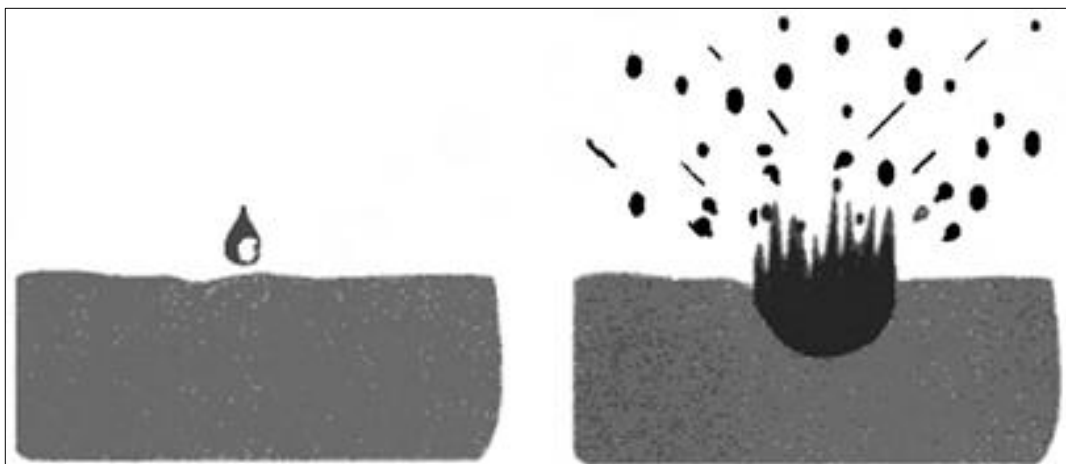
Para Guerra (2011) a intensidade das gotas da chuva que chegam ao solo é o principal fator a ser considerado tendo em vista que a variabilidade da perda de solo vai estar relacionada a energia liberada por cada gota em contato com a camada superficial do solo, provocando:

[...] a desagregação é ocasionada tanto pelo impacto causado direto ao solo das gotas da chuva como pelas águas que escorrem na sua superfície. Em ambos os casos é uma intensa forma de energia que desagrega e arrasta o solo, que é a energia cinética ou energia em movimento e sabe-se que é proporcional ao peso ou massa do que está se movendo (água e/ou partículas do solo) e ao quadrado de sua velocidade (LEPSCH, 2002, p. 154).

O impacto perpendicular ocasionado pela chuva e sua força cinética no movimento em superfície, acarreta a retirada e o transporte dos sedimentos dos horizontes superficiais do solo, tendo assim, uma variedade de velocidade de acordo com a dimensão da intensidade da chuva.

As chuvas torrenciais, frequentemente observadas em ambiente semiárido, concentram-se em alguns meses do ano. Esse modelo de precipitação se constitui como um fator agressivo ao solo por conta de sua intensidade energética destinada a precipitação, pois além do volume das gotas tem-se o fator intensidade que não permite que os horizontes do solo escoem naturalmente, causando o escoamento superficial (figura 08). O impacto direto da chuva, causa o destacamento das partículas do devido à energia que foi colocada naquela ação, causando a erosão por “*splash*” (CARVALHO *et. al*, 2006).

**Figura 8** - Impacto da gota da chuva no solo causando a retirada dos agregados superficiais do solo, induzindo a formação da erosão por splash



Fonte: CARVALHO, *et. al*, 2006, p. 61.

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2010), para além da força das gotas da chuva, a frequência dos eventos chuvosos pode induzir negativamente as perdas de solo. Nesse sentido, quanto maior for o tempo de intervalo entre os eventos chuvosos, melhor será para o solo que terá tempo para escoar, tendo em vista que, quando o solo está enxarcado e ocorre outra chuva torrencial, a cobertura pedológica perde a sua capacidade de infiltração por conta da saturação, e com isso começa-se a gerar o escoamento superficial, dando início a erosão.

### 2.3.3. Fator Cobertura Vegetal

A cobertura vegetal é considerada a principal proteção da estrutura pedológica. O seu sistema radicular bem como a copa das folhas são as principais bases para a proteção do solo. A retirada da vegetação é historicamente associada à iniciação dos processos erosivos, a qual desenvolve as feições erosivas laminar, sulcos, ravinas e voçorocas, um vez que:

Os fatores relacionados à cobertura vegetal podem influenciar os processos erosivos de várias maneiras: através dos efeitos especiais da cobertura vegetal, dos efeitos da energia cinética da chuva, e do papel da vegetação na formação de humus, que afeta a estabilidade e teor de agregados (GUERRA, 2011, p. 161).

A vegetação possui essa abrangência em sua proteção ao solo pelo fato de reduzir inicialmente o impacto causado pelas gotas de chuva, ajudando a estabilizar a relação água-solo. Na medida em que essa energia da água é quase nula, ao adentrar o solo não irá

desestabilizar os agregados e irá infiltrar normalmente sobre as camadas (GUERRA, 2011). Associado a esses efeitos positivos da vegetação ao solo, Bertoni e Lombardi Neto (2010) aponta alguns benefícios:

A cobertura vegetal é a defesa natural de um terreno contra a erosão. O efeito da vegetação pode ser assim enumerado: a) proteção direta contra os impactos das gotas da chuva; b) dispersão da água, interceptando-a e evaporando-a antes que atinja o solo; c) decomposição das raízes das plantas que, formando canalículos no solo, aumentam a infiltração da água; d) melhoramento da estrutura do solo pela adição de matéria orgânica, aumentando assim a capacidade de retenção de água; e) diminuição da velocidade do escoamento da enxurrada pelo aumento do atrito na superfície (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010, p. 59).

Os benefícios expostos acima, reafirma que não é só a dispersão da energia da água que a vegetação induz como benefício ao solo, mas sim a própria raiz e folhas que servem de adubo ao solo bem como a formação de canalículos que são espaços deixados por raízes e que auxilia o solo na infiltração da água proveniente da chuva (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010).

No caso da estabilidade da encosta, a vegetação possui um reforço expressivo que vai ter uma variabilidade de acordo com a sua estrutura radicular, podendo diminuir drasticamente a remoção das partículas do solo. O sistema de raízes secundárias são aquelas que prendem mecanicamente os horizontes do solo favorecendo a infiltração e evitando o escoamento superficial. As raízes consideradas terciárias (verticais) são as raízes mais profundas que ajudam a estabilizar a cobertura pedológica, firmando os agregados e fornecendo matéria orgânica através da decomposição de suas raízes (ARAÚJO *et. al.*, 2008).

A relação solo-vegetação é uma relação de dependência, tanto o desenvolvimento da infiltração do solo como o crescimento da vegetação (sistema radicular) vai estar atrelado às condições ambientais de clima, bem como na atuação da pedogênese (ARAÚJO *et. al.*, 2008).

#### **2.3.4. Fator Topografia**

O escoamento superficial concentrado possui uma múltipla conexão de fatores que induz a sua formação. O seu desenvolvimento, perpassando por vários estágios erosivos, está atrelado aos condicionamentos da modelagem do terreno. A paisagem possui características minuciosas que podem variar a curtas distâncias e até mesmo em uma vertente.

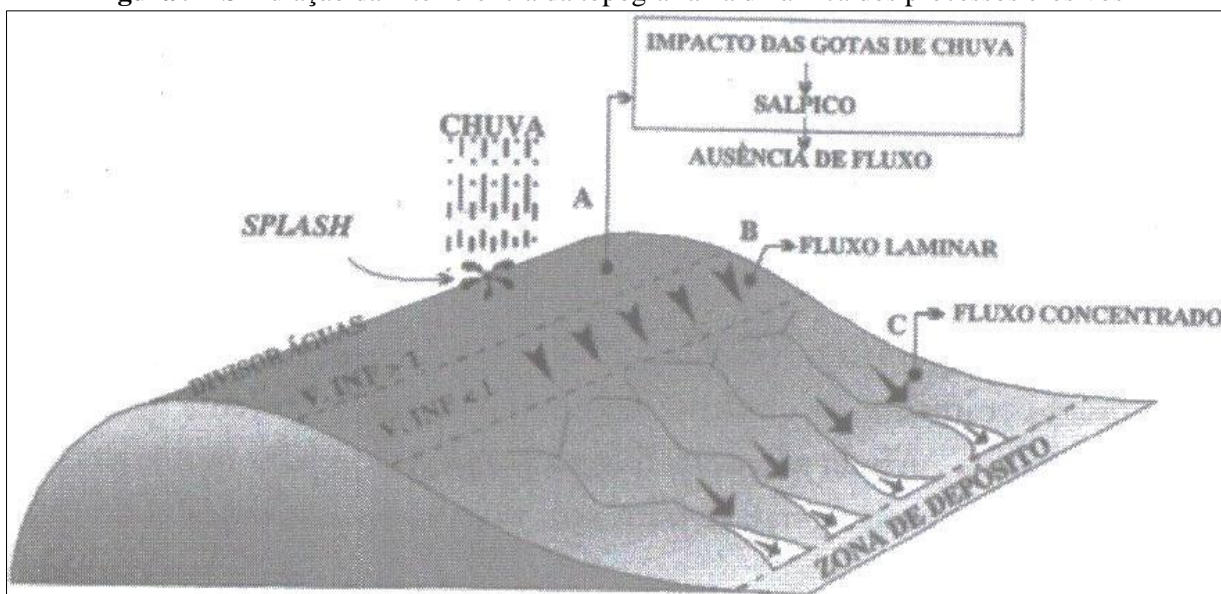
A erodibilidade do solo pode se dar de modo diferenciado a partir dos condicionantes da encosta, já que de modo inicial, Guerra (2011, p. 163) introduz dizendo que “[...] encostas muito íngremes, a erosão pode diminuir devido ao acréscimo de material disponível [...] solos com maior erodibilidade eram aqueles situados em encostas com 30° de declividade [...]”.

Os gradientes de declividade é o fator preponderante para o desenvolvimento da erosão, sendo que declives superiores a 30°, como foi citado pelo autor, à cobertura pedológica possui maior propensão a erosão. Até mesmo em declividade de baixo grau de inclinação, inferior a 30°, pode induzir ao desenvolvimento do processo erosivo, sendo associado à espessura do solo sobre a vertente (LEPSCH, 2002; BERTONI, 2010). Desse modo:

[...] o *run-off* aumenta rapidamente entre 0 e 3% de declive e, daí por diante, o seu aumento é relativamente suave para cada 1% de crescimento do mesmo. As perdas de solo crescem moderadamente até um gradiente de 4%, até 7 ou 8%, o crescimento é mais rápido e daí para cima continua crescendo ainda mais rapidamente (BRAUN, 1961, p. 10).

Os diferentes graus de inclinação proposto por Braun (1961), induzem a determinados quantitativos de perda de solo. Em uma encosta sem cobertura vegetal (figura 09) a água precipitada promove o efeito splash através da energia inicial que a mesma traz consigo. Em áreas de topo, onde a inclinação não é acentuada, o material inicialmente removido, começa a formar o fluxo laminar por não haver inclinação suficiente para gerar o fluxo concentrado.

**Figura 9** - Simulação da interferência da topografia na dinâmica dos processos erosivos



Fonte: MAFRA, 2009, p. 303.

No processo de transporte do material pedológico, a energia cinética aumenta seu potencial a partir do aumento gradativo do grau de inclinação do terreno, promovendo o surgimento do fluxo concentrado superficial e dando início aos sulcos que se tornarão as ravinas e voçorocas.

Além da declividade, o comprimento da rampa e a morfologia da encosta influenciam diretamente no processo erosivo. Desse modo, a “[...] encosta de forma plana ou levemente convexa tenderá, de modo geral, a se processar erosão em lençol [...]” (BRAUN, 1961, p. 10). Tendo em vista que modelagens planas ou levemente convexas tendem a não desenvolverem fluxos concentrados, as encostas côncavas já induzem outras formas de processos erosivos, como o fluxo concentrado superficial que leva a geração dos sulcos, ravinas e voçorocas (BRAUN, 1961).

### **2.3.5. Fator solo**

Associado a todos os fatores já mencionados (topografia, chuva e cobertura vegetal), a erodibilidade dos solos tem uma ligação com a estrutura e composição textural do solo que está sendo afetado com o processo erosivo. As características de textura e permeabilidade bem como suas propriedades químicas, irão fazer toda a diferença para o desenvolvimento da erosão superficial (SALOMÃO, 2009).

Quando se refere à textura, os solos arenosos são naturalmente mais aptos à infiltração da água por conta da alta porosidade que facilitam à infiltração da água com maior rapidez, evitando o escoamento superficial. Atrelado a isso, os solos com maior teor de argila, já possui um sistema de infiltração mais lento por conta da concentração e agregação dos minerais por causa da presença da argila (LEPSCH, 2002; SALOMÃO, 2009; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010).

Os níveis de gradiente textural nos horizontes iniciais (A e B) se tornam essenciais no processo de erosão. Solos com alto teor de gradiente, ou seja, com maior concentração de areia no horizonte A, tendem a ser mais susceptíveis a erosão do que os solos com baixo teor de gradiente, também entendido como solos com alto teor de argila no horizonte A, que por sua vez, irá ter uma maior resistência ao arraste das partículas superficiais por conta da capacidade de agregação da argila (SALOMÃO, 2009).

Relacionado ao gradiente textural, a matéria orgânica é outro elemento crucial para a prevenção da erosão, tendo em vista que a matéria orgânica atua como elemento de ligação dos agregados dos solos além de facilitar a infiltração nos horizontes superficiais, diminuindo os riscos de formação de crostas na superfície do solo (GUERRA, 2011). Associado a matéria

orgânica, densidade aparente é outro elemento importante no solo, sendo entendido a partir da:

[...] densidade aparente dos solos é outro fator controlador que deve ser levado em conta quando se tenta compreender os processos erosivos, pois se refere à maior ou menor compactação dos solos [...] a densidade aparente também parece correlacionar-se com o teor de matéria orgânica, isto é, à medida que o teor de matéria orgânica diminui, aumenta a ruptura dos agregados, crostas se formam na superfície do solo, aumentando a sua compactação [...] (GUERRA, 2011, p. 159).

De acordo com o autor, quanto menor o teor de matéria orgânica, menor será a capacidade de agregação dos minerais no solo e conseqüentemente a densidade irá aumentar, provocando o fechamento dos poros, limitando a capacidade de infiltração já que afeta diretamente na porosidade do solo. Solos mais porosos possuem uma densidade aparente baixa (GUERRA, 2011).

É válido lembrar que nem sempre solos arenosos irão ter uma alta porosidade, pois a porosidade de um solo está atrelada tanto à organização dos minerais bem como a fração de argila existente e a quantidade de matéria orgânica. Em um solo com baixa concentração de matéria orgânica nos horizontes superficiais, a compactação e formação de crostas pelo efeito *splash* se torna mais evidente, causando o escoamento superficial (GUERRA, 2011). Quanto aos níveis de pH do solo, entende-se que o solo esteja sempre nos níveis neutro, valores em torno de 7.0, já que:

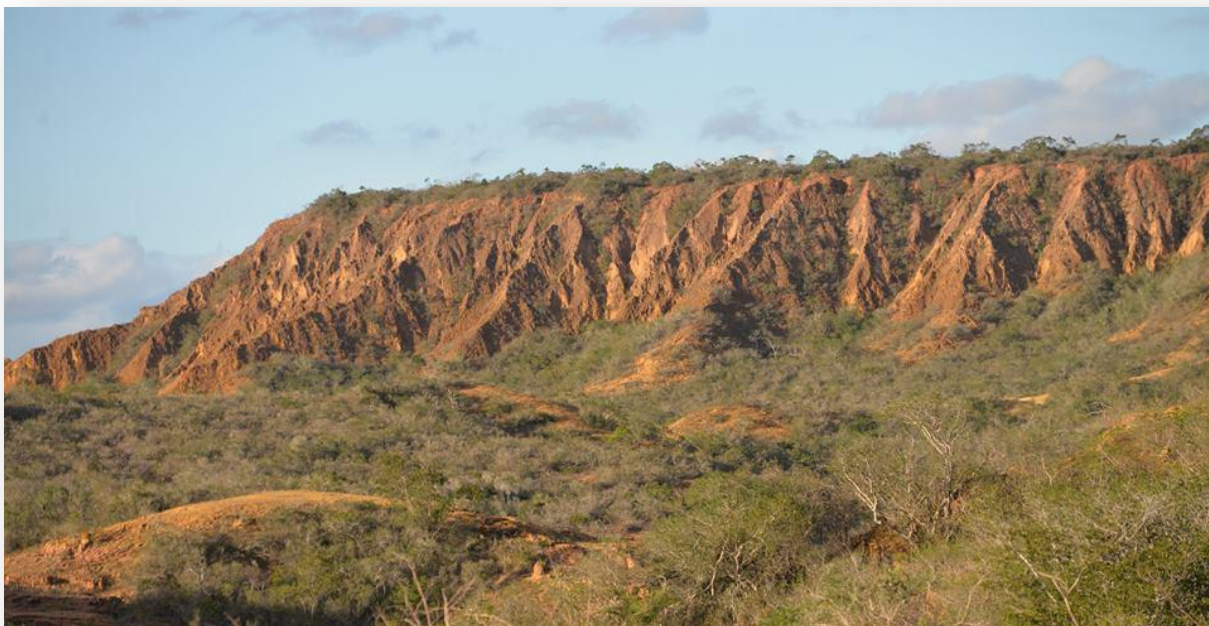
[...] solos ácidos são deficientes em cálcio, um elemento conhecido em contribuir na retenção do carbono, através da formação de agregados, que combinam humus e cálcio [...] solos com alto teor de silte tendem a ter maior erodibilidade à medida que o pH aumenta [...] (GUERRA, 2011, p. 160).

Tanto nos níveis ácidos ou básicos, colocam o solo em um teor de vulnerabilidade a erosão, seja na ausência de minerais base para o controle dos agregados ou na presença abundante de minerais como o silte que aumenta o pH e facilita a erosão por não terem a capacidade de agregação (GUERRA, 2011).

### 03. ASPECTOS GEOAMBIENTAIS DO PERÍMETRO DAS VOÇOROCAS

---

*Processos erosivos na porção frontal do tabuleiro na região do Vale do Saco – Tucano/BA.*



*Fonte: Antônio Ilton Souza Santana, 2017.*

**"A ciência é a aproximação progressiva do homem com o mundo real"**  
***Max Planck***



### 3.1. ASPECTOS CLIMÁTICOS

A dinâmica climática regional na qual o município de Tucano está inserido, situa-se no domínio do semiárido brasileiro. Segundo a classificação tipológica climática de Thornthwaite *apud* SEI (2016), a área das voçorocas 1 e 2 insere-se em um perímetro de transição do clima semiárido para o subúmido a seco.

Considerando o tipo climático predominante da área, verifica-se que ocorrem variações consideráveis na média de precipitações anuais quando os índices pluviométricos atingem 600 a 700 mm, principalmente na porção oeste onde se localizam as voçorocas 01e 02 (Figura 10). Essa condição de variabilidade na pluviometria mensal e total anual, na escala dos municípios, é constatada nos dados de chuvas do período 2010/2016, com valores oscilatórios de precipitações registrados em 2010 com o máximo de 792 mm anual e em 2012 com o mínimo total anual de aproximadamente 306 mm (tabela 01 e figura 11).

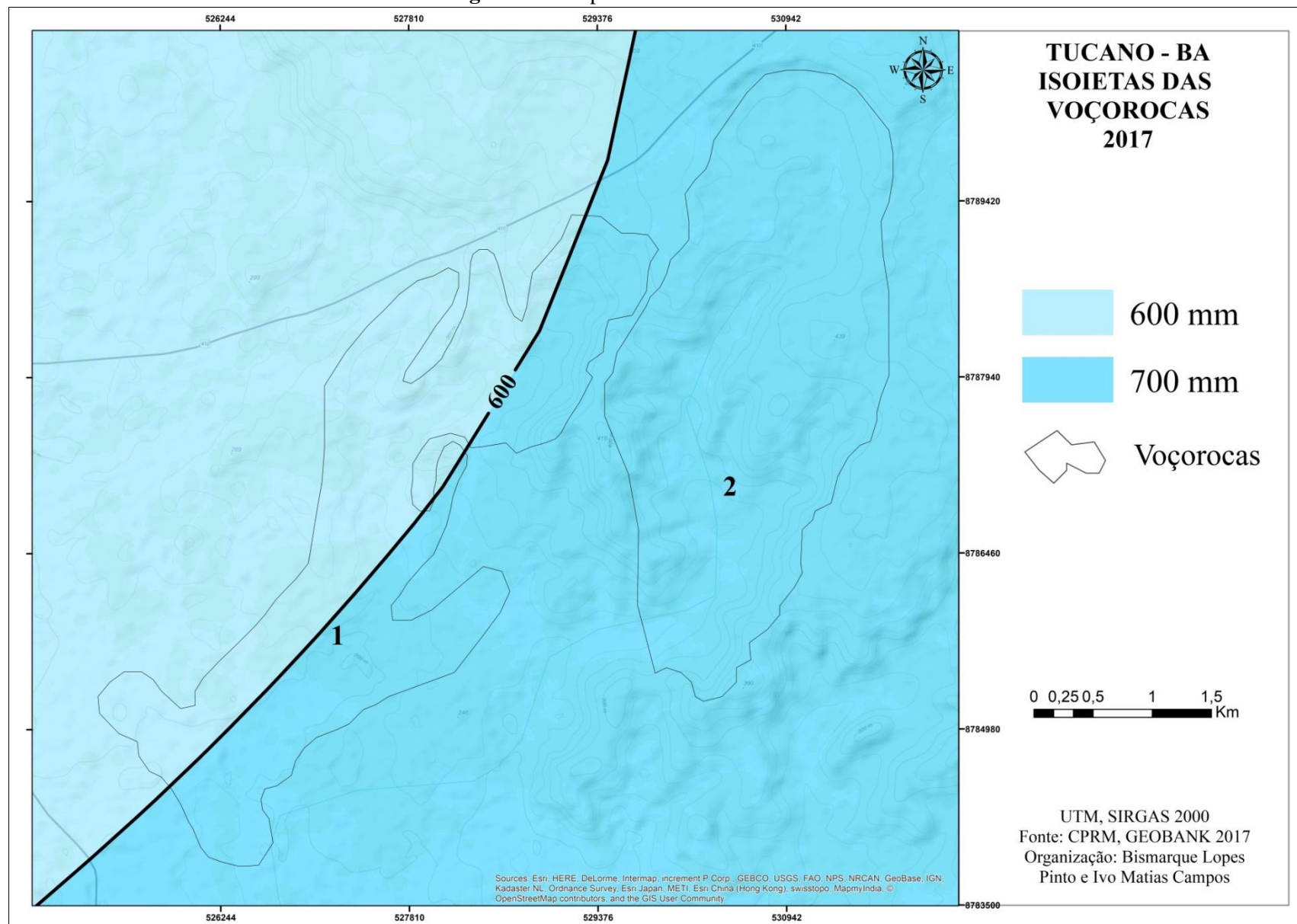
**Tabela 2** - Cipó/BA -precipitação pluviométrica mensal e anual – 2010/2016

<b>PRECIPITAÇÃO ANUAL DA ESTAÇÃO CLIMATOLÓGICA DE CIPÓ – BA (83192)</b>							
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Jan	35	39	08	21	06	18	154
Fev	21	15	54	03	32	95	23
Mar	134	27	14	15	49	08	11
Abr	152	127	02	63	64	33	23
Mai	59	35	22	66	83	112	110
Jun	81	42	19	46	64	88	42
Jul	141	48	46	91	93	72	34
Ago	40	20	56	67	49	71	28
Set	35	07	33	40	29	12	18
Out	59	65	13	49	38	28	21
Nov	04	87	28	19	107	04	17
Dez	31	02	01	139	50	19	28
Volume/anual (mm)	<b>792</b>	<b>514</b>	<b>306</b>	<b>619</b>	<b>664</b>	<b>560</b>	<b>509</b>

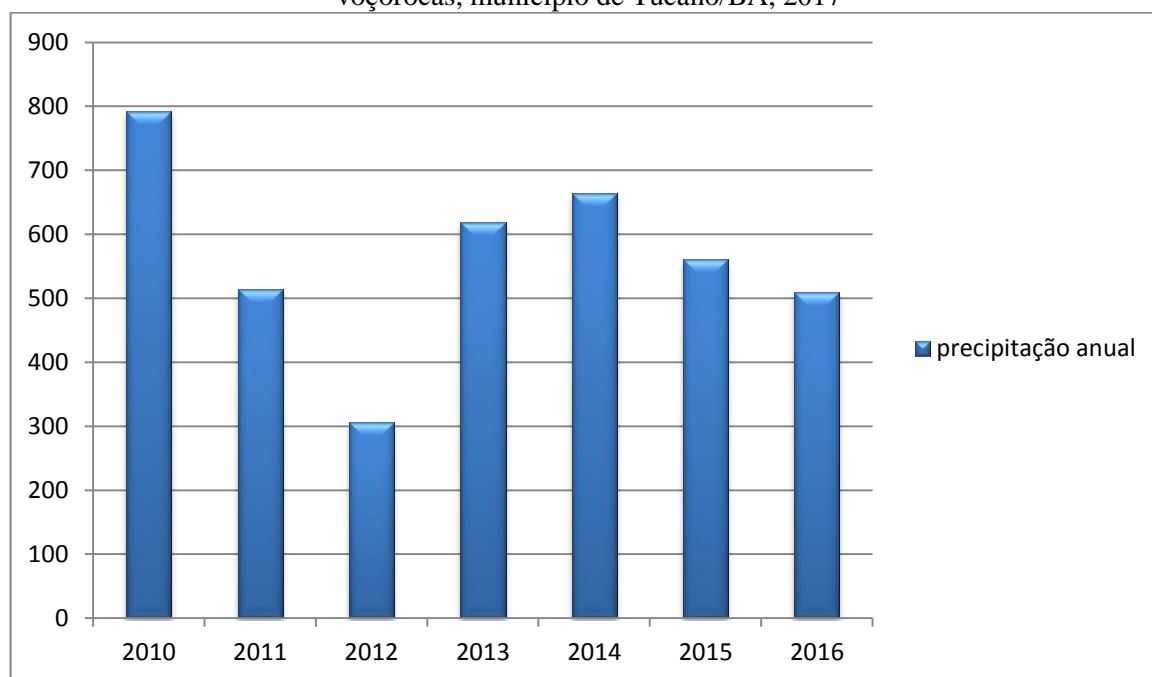
Fonte: Dados da Rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Estação Climatológica de Cipó/BA

Elaboração: Bismarque Lopes Pinto, 2017.

**Figura 10 - Mapa de isoietas da área de estudo**



**Figura 11** - Estação Climatológica de Cipó/BA, volume pluviométrico anual da área próxima das voçorocas, município de Tucano/BA, 2017



Fonte: Dados da Rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Elaboração: Bismarque Lopes Pinto, 2017.

Na escala mensal, a variação da precipitação, está associada a organização natural do ambiente de semiaridez e suas sucessivas fases de seca habituais na região que promovem meses de estiagem com índices inferiores a 10 mm/mensal, como visto por exemplo nos meses de janeiro, abril e dezembro de 2012 e períodos de chuvas torrenciais de até 154 mm/mensal, respectivamente nos meses de abril, maio e julho predominantes em vários anos da série aqui considerada.

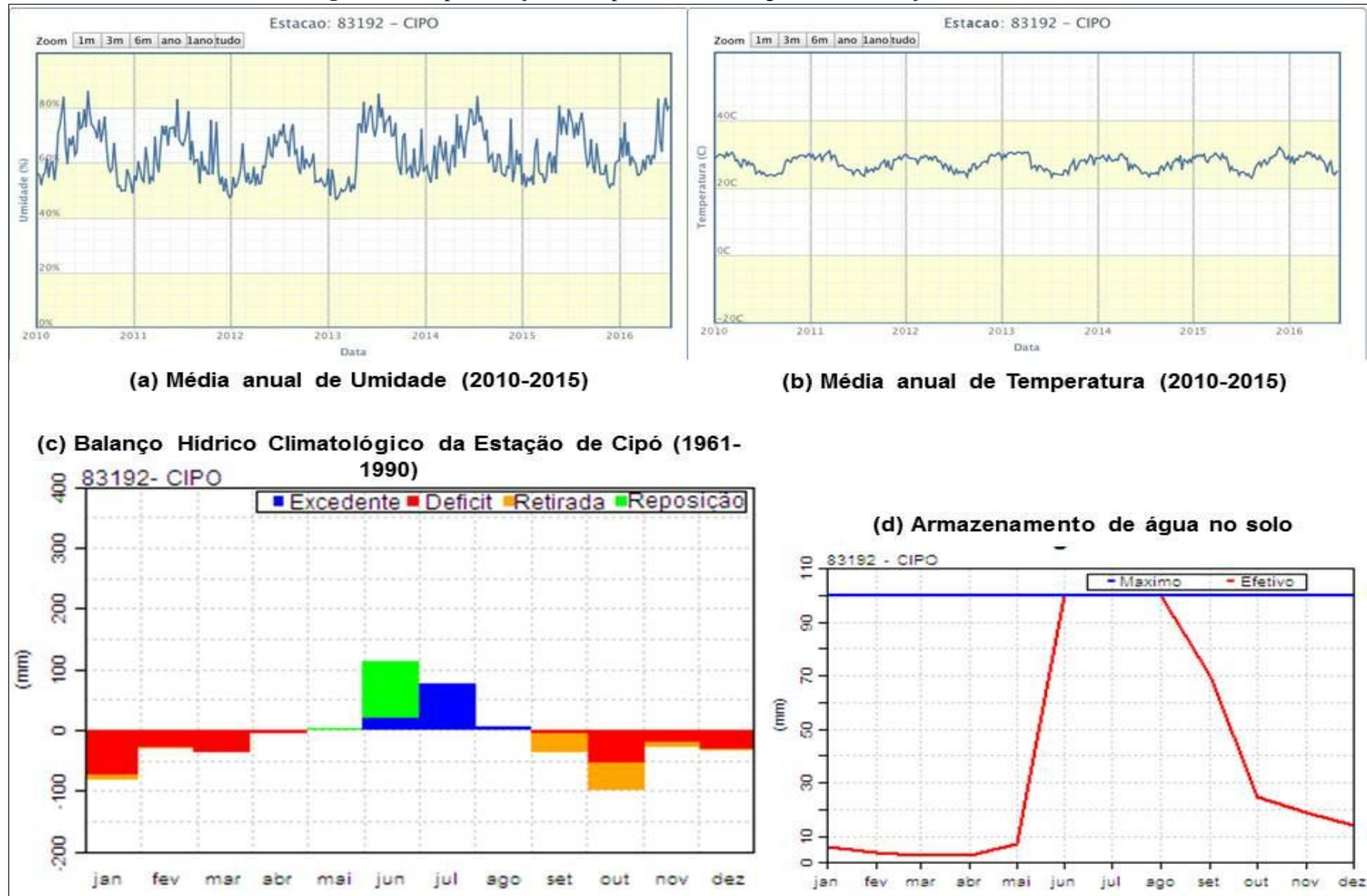
A dinâmica pluviométrica local pode ser entendida como o *input* inicial do sistema de voçorocamento, uma vez que, corroborando com Bertalaffy (1977), as chuvas torrenciais concentradas em alguns meses do ano, funciona como a energia cinética inicial que impulsiona ao aparecimento do efeito *splash* sobre a camada pedológica bem como dando início ao escoamento superficial concentrado, permitindo a entrada de um volume de energia significativa no sistema e movimentando a matéria pedológica até a zona de dejeção (*output*) do sistema de voçoroca.

Levando-se em consideração as características de semiaridez e os períodos de seca que reduzem drasticamente o volume d'água na atmosfera, a área apresenta níveis médios de umidade relativa do ar, girando em torno de 48% a 85% (figura 12-a). A temperatura local oscila de 23° a 32° (figura 12-b). A circulação dos ventos segue a média de direção proporcional a Leste-Sudeste e Sul-Sudeste.

O balanço hídrico da área, representado pela estação climatológica de Cipó no período de 1961 a 1990, evidencia deficiência hídrica no período primavera/verão que se caracteriza pelo baixo índice pluviométrico, sendo, portanto, insuficiente para retirada do recurso água e, com isso, gera um déficit nas reservas aquíferas. Registra-se a reposição nos meses de junho, julho e agosto quando ocorre armazenamento de água no solo, além do excedente utilizado para diversos fins (figura 12 c-d).

A organização sistêmica dos processos de voçorocamento, são fortemente influenciados pelo aspectos climáticos tendo em vista a incidência média de temperatura elevada do semiárido bem como o déficit hídrico do subsolo, promove uma desordem, que na perspectiva de Morin (1977), favorece na redução da vegetação natural, que por sua vez, com a sua ausência, os reajustes iniciais de erosão começam a evoluir na paisagem, dando início ao transporte de matéria dentro do sistema, condicionando a vertente ao modo de resistasia.

**Figura 12** - Representação dos aspectos meteorológicos e do balanço hídrico da área



Fonte: Dados da Rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 2016.

### 3.2. COMPONENTE LITOESTRUTURAL

A bacia sedimentar do Recôncavo-Tucano-Jatobá possui extensão aproximada de 45.000 km<sup>2</sup>, sendo formada a partir de processos de rifteamento sobre as litologias cratônicas são-franciscana e da borborema por volta de 144 milhões de anos (idade mesozóica) (figura 13). Sua gênese estrutural de abertura da base cratônica para a formação da bacia de sedimentação está ligada a divisão dos continentes sul-americano com o africano ainda na Gondwana (SANTOS *et. al*, 1990; PEDREIRA *et. al*, 2010).

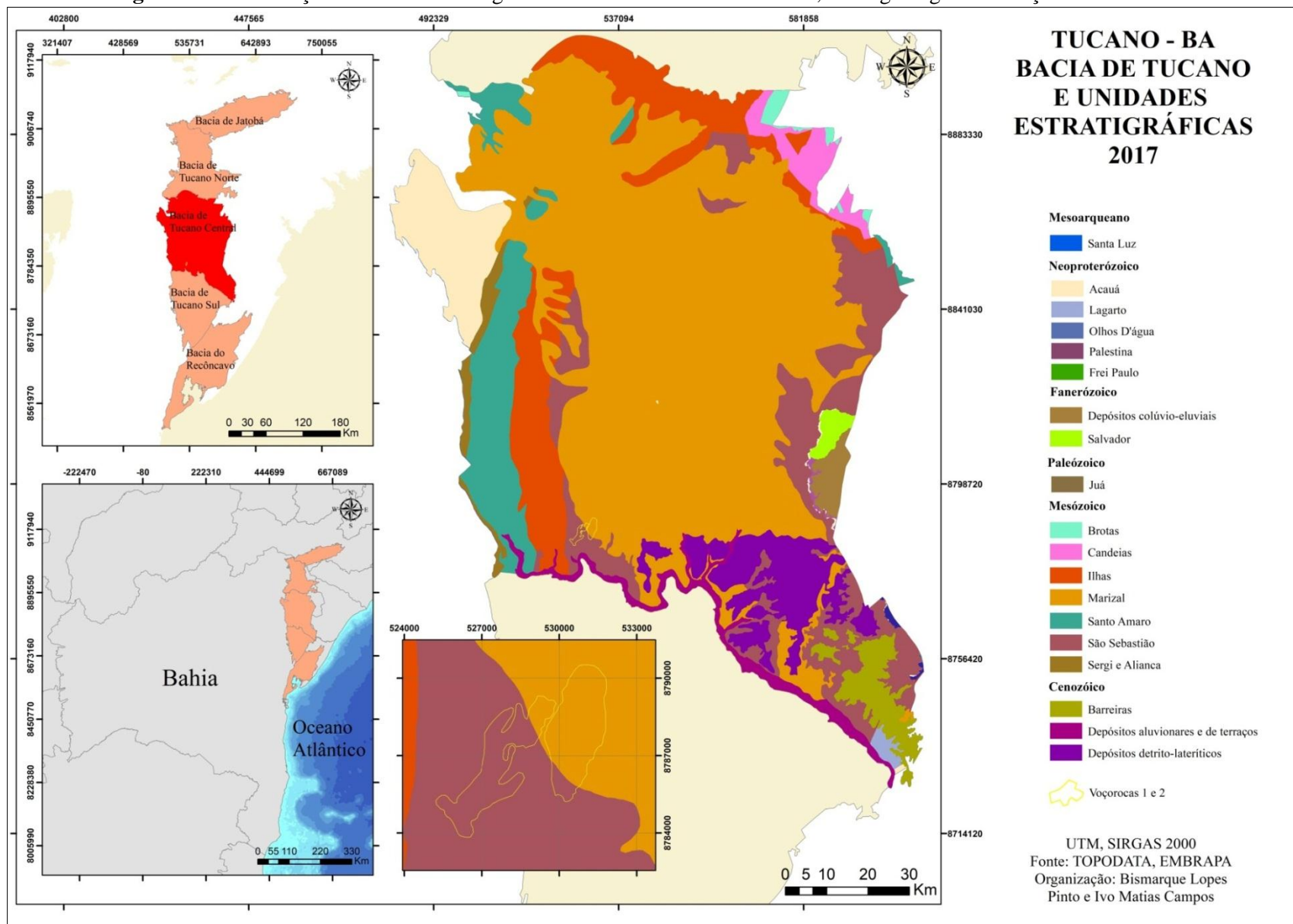
A Sub-Bacia de Tucano Central, faz parte do complexo da Bacia de Tucano a qual se subdivide nas porções Sul, Central e Norte. Essa sub-bacia apresenta a maior subsidência quando comparada às demais porções da bacia de Tucano, com uma profundidade máxima de 12.000 metros, preenchida por sedimentos até o período do Cretáceo. A área apresenta falhas antitéticas, contrapondo ao plano de formação meridional da bacia que evoluiu no sentido N-S (SANTOS *et. al*, 1990; PEDREIRA *et. al*, 2010).

A Sub-Bacia de Tucano Central encaixa-se nos estudos de Ross (1992) como o 1º táxon na ordem de grandeza do relevo. Sob essa perspectiva, a morfoestrutura apresentada nos dá a história genética inicial dos processos morfogenéticos que levaram a evolução do relevo nos táxons inferiores localizados no interior da bacia, traduzindo as ações morfodinâmicas atuais e elecando suas características morfológicas de condicionamento de vertente, evolução erosiva bem como o entendimento da bacia enquanto sistema que mantém uma interconexão a partir da relação com os outros elementos geoambientais que compõe o sistema da bacia.

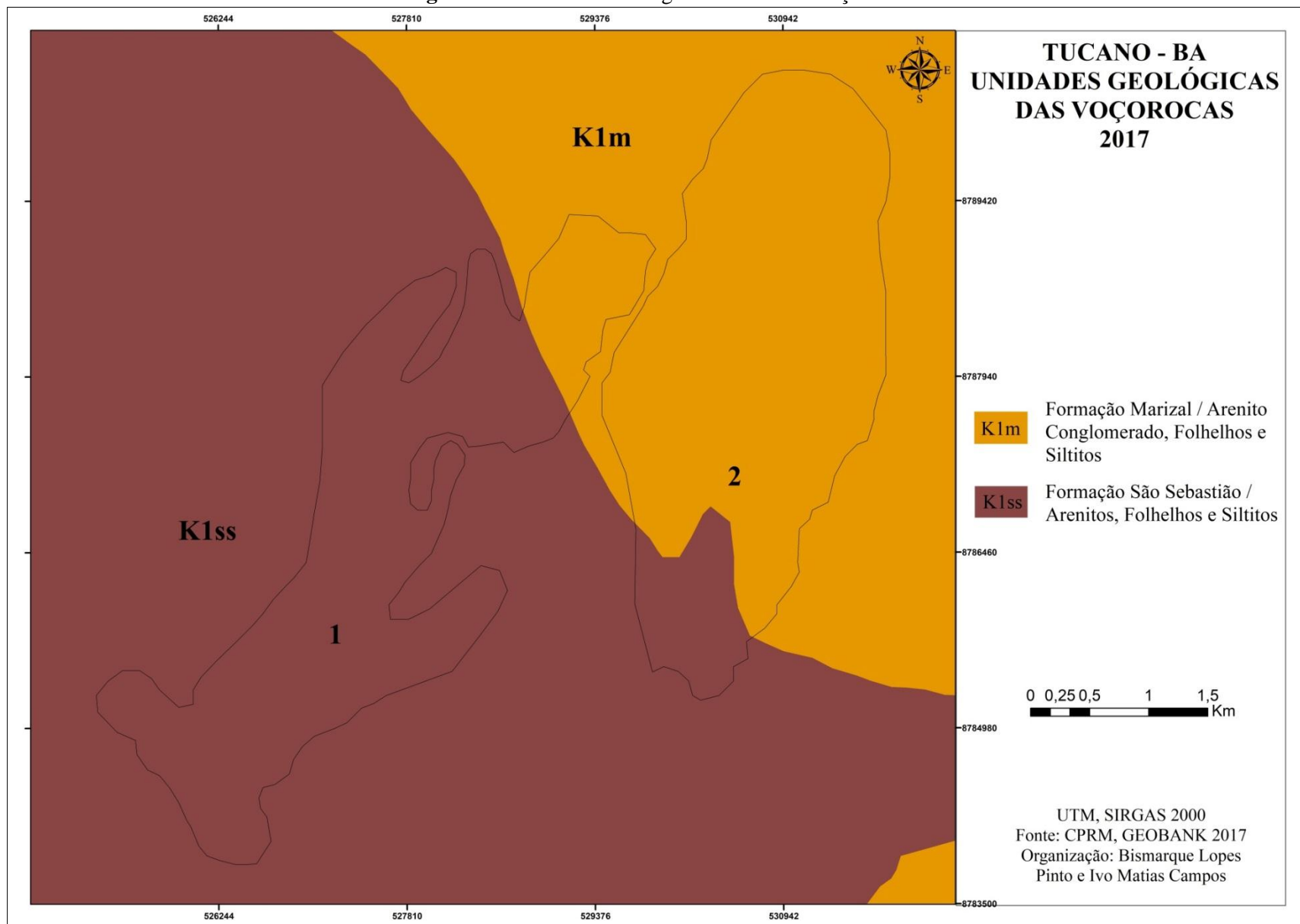
O perímetro das voçorocas abrange as formações litológicas Marizal e São Sebastião (figura 14). A formação Marizal corresponde a 50% da litoestrutura da Sub-bacia de Tucano e abrange em torno de 46% da área das voçorocas. O período de deposição data do pós-rifte no Cretáceo, com predomínio de clásticos grossos, conglomerados e arenitos (figura 15 e 16). A coloração da litologia apresenta uma variação acinzentada, vermelho-amarelado e mosqueado (NASCIMENTO e ALVES, 2014; PEDREIRA *et. al*, 2010).



**Figura 13** - Localização e unidades estratigráficas da Bacia de Tucano Central, lócus geológico das voçorocas em estudo.



**Figura 14 - Unidades Geológicas da área das voçorocas**





**Figura 15** - Afloramento de arenito da formação marizal no topo da Voçoroca 02



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.

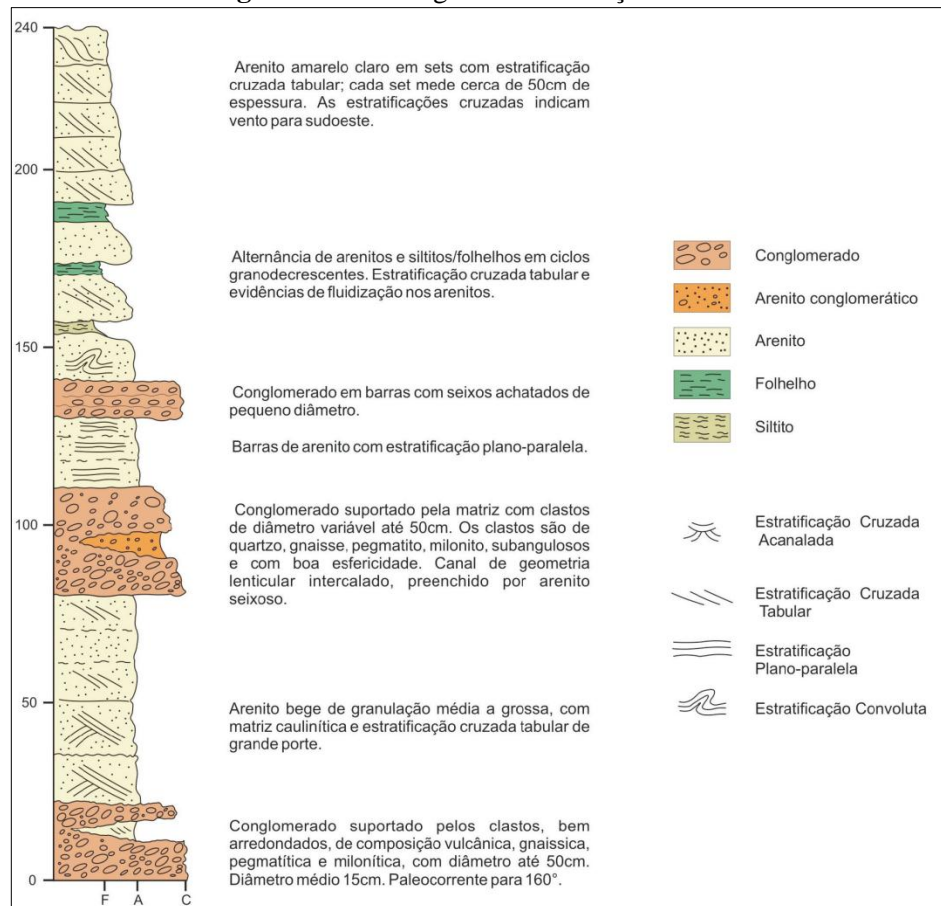
**Figura 16** - Conglomerados e arenitos da formação marizal no interior da voçoroca 02



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.

Observa-se através do perfil estratigráfico a relação existente entre a formação Marizal e a deposição de sedimentos provenientes de ambientes de deposição fluvial ocorridos entre 120 a 110 milhões de anos, os quais foram retrabalhados pela ação eólica na localidade (figura 17). Os arenitos da formação Marizal possuem planos de estratificação cruzada e cores que variam do acinzentado a alaranjado (PEDREIRA *et. al*, 2010).

**Figura 17 - Estratigrafia da formação Marizal**



Fonte: PEDREIRA *et al*, 2010.

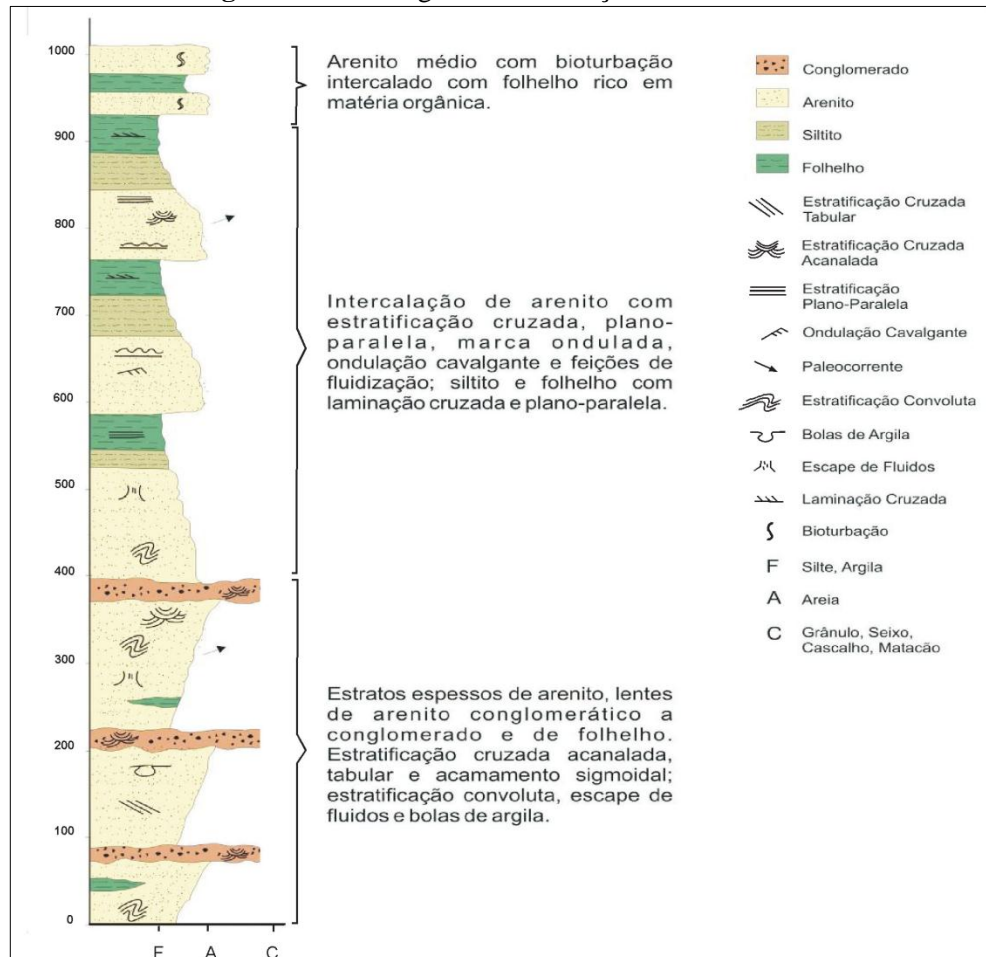
Entre a alternância deposicional do arenito, tem-se a ocorrência de conglomerados, folhelhos e siltitos. Os conglomerados são formados, basicamente, com seixos de arenitos e matacões de quartzo leitoso ou calcário. Os folhelhos e siltitos possuem predomínio da tonalidade rosa, castanho e mosqueado (PEDREIRA *et al*, 2010).

A formação São Sebastião abrange cerca de 54% da área das voçorocas 1 e 2, especificamente na parte central e sul (figura 18). Essa formação resulta de antigas deposições de planícies fluviais durante o processo de rifteamento no período Cretáceo (NASCIMENTO e ALVEZ, 2014; PEDREIRA *et. al*, 2010).

Sua composição litológica é basicamente constituída de arenitos de alta porosidade, composição granulométrica média a grossa e tonalidade amarelo-claro associado ao plano de

sedimentação de camadas de folhelhos e siltitos de tonalidade avermelhada e amarelo-claro. Na coluna de estratificação da formação São Sebastião, observa-se a sobreposição do arenito intercalado com os planos de sedimentação dos folhelhos que possui o plano de laminação cruzada (PEDREIRA *et. al*, 2010).

**Figura 18 - Estratigrafia da formação São Sebastião**



Fonte: PEDREIRA *et. al*, 2010.

O material litoestutural sedimentar apresentado acima, constitui-se enquanto um dos subsistemas primordiais na dinâmica da Sub-Bacia de Tucano Central. O arenito de maior predominância na área, apresenta o alto grau de susceptibilidade a erosão por conta de sua característica friável e de fácil remoção de transporte através da atuação dos demais subsistemas ambientais inclusos na bacia. Tais características são transmitidas a cobertura pedológica que predominam a presença do material arenoso, ausentando-se da porcentagem necessária de argila, fazendo com que a erosão se desenvolva com maior rapidez.

A coesão de uma rocha sedimentar irá depender exclusivamente aos processos de cimentação bem como a constituição do próprio cimento natural utilizado, tendo em vista que quanto melhor a cimentação natural for maior será a facilidade de permeabilização das águas

entre os poros da rocha e conseqüentemente irá haver uma redução do escoamento superficial que é um dos causadores principais da erosão (PENTEADO, 1980).

Como já foi dito acima, a permeabilidade da rocha irá ser entendida a partir do desenvolvimento dos poros da mesma e sua capacidade de infiltração das águas. As rochas sedimentares como os arenitos possuem um grau elevado de permeabilidade graças aos processos de diaclasamento e aberturas fissurais que são feitas em sua estrutura, contudo, esse avantajado grau de permeabilidade pode ser interrompido caso os planos de sedimentação sofram movimentos tectônicos de soergimento e inclinação, favorecendo a formação de vertentes íngremes e desfavorecendo a infiltração natural das rochas sedimentares (PENTEADO, 1980).

O grau de plasticidade de uma rocha sedimentar permite ou não a incisão erosiva linear. Esse processo vincula-se a capacidade da rocha e desprenderem-se os seus grãos seja ele de forma rápida ou lenta. Para tal situação, a plasticidade está ligada a cimentação ocorrida na formação da rocha. Nas áreas de maior fraqueza da plasticidade, gera-se os planos de diaclases que produzem fissuras perpendiculares as linhas de sedimentação da rocha (PENTEADO, 1980).

A partir do entendimento inicial sobre a origem e comportamento das bacias sedimentares, fica nítido que as bases geológicas são determinantes para a organização paisagística das formações geomorfológicas bem como a distribuição pedológica sobre a bacia. Todos os elementos superficiais da paisagem (solo e relevo) estão intrinsecamente atrelados à formação estruturante sedimentar.

O desenvolvimento de um processo erosivo superficial possuem vínculos específicos com os condicionantes geológicos, pois é a base estrutural da rocha é que dá elementos mineralógicos para a formação do solo. Essa herança de material, segundo Lepsh (2002), pode induzir de modo negativo posteriormente para a formação da erosão nos solos, pois as características de porosidade e a granulometria de um solo está ligado diretamente à rocha-mãe, que irá aumentar ou diminuir o grau de vulnerabilidade à erosão.



### 3.3. ESTRUTURA GEOMORFOLÓGICA

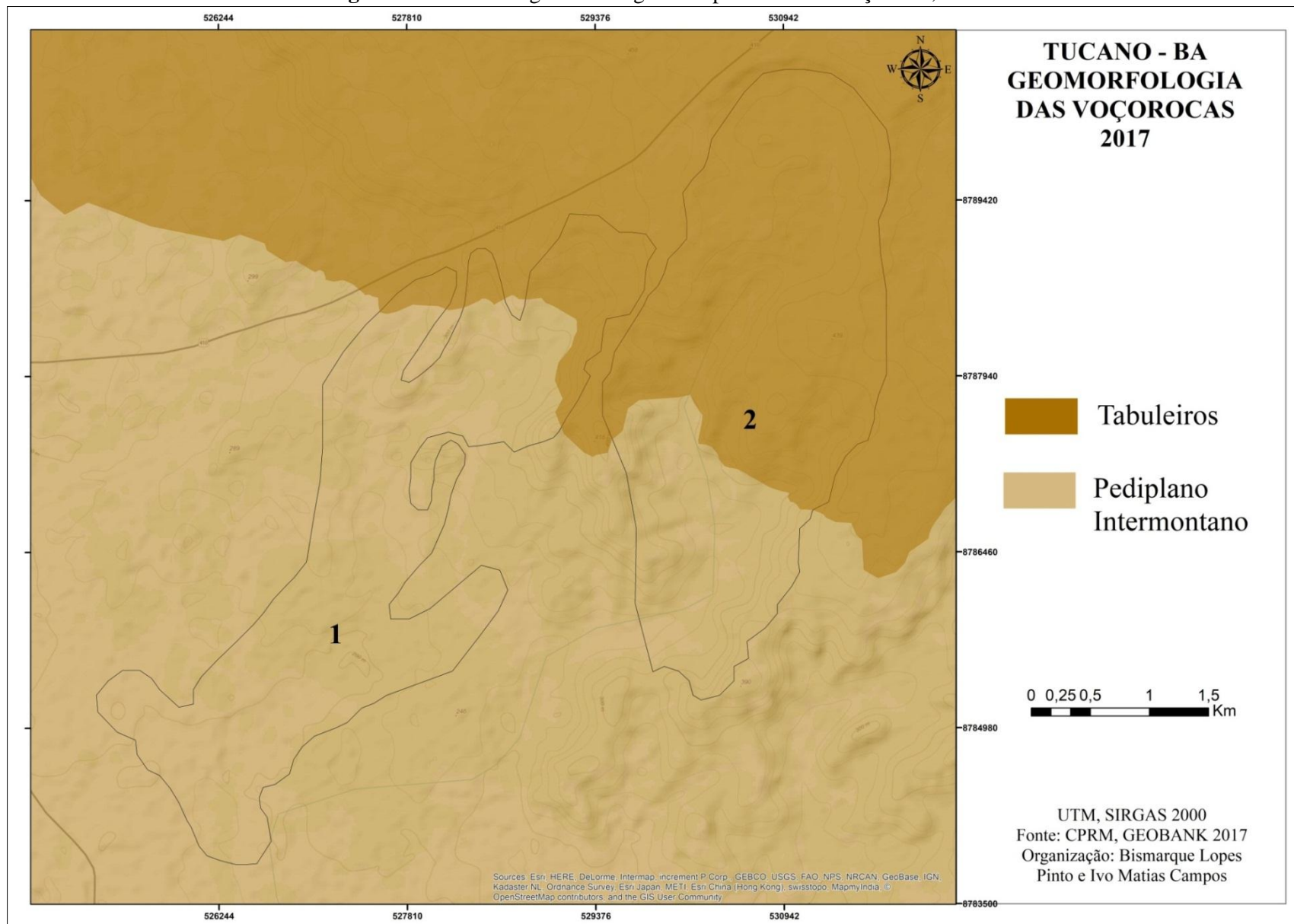
A dinâmica geomorfológica no interior da Sub-Bacia de Tucano Central é o subsistema de maior relevância para este trabalho, tendo em vista que sua morfodinâmica induz diretamente no surgimento de processos erosivos. A evolução do relevo no interior de bacias sedimentares está condicionada ao processo complexo de sedimentação geológica do material carregado pelos elementos responsáveis pelo *input* do sistema-bacia.

As bacias de sedimentação sendo identificadas como porções deprimidas localizadas no interior do continente, tendo seu processo inicial de sedimentação marcado pela progressão e transgressão marinha, onde a mesma é preenchida em momentos específicos, por sedimentos marinhos. Com a regressão das águas oceânicas, toneladas de sedimentos ficam empilhadas no interior dessas áreas deprimidas, para assim, dá início aos processos diagenéticos de dissecação dos minerais e cimentação das camadas de sedimentos (PENTEADO, 1980).

O perímetro das voçorocas insere-se entre as unidades geomorfológicas de Pediplano Intermontano e Tabuleiros (figura 19). A gênese evolutiva das unidades apresentadas no interior da bacia está condicionada a mudança da espessura crustal que se dá a partir do afinamento da camada litosférica que pode acontecer através da atuação de diversos agentes erosivos, como, por exemplo, a “erosão superficial [...] assim como estiramento litosférico, deve-se também considerar que, num regime compressivo, um thrust (empurrão) pode espessar muito a crosta e, portanto, constituir-se igualmente em importante processo de desequilíbrio” (CHANG *et. al*, 1990, p. 50-52).

Os desequilíbrios representam os fatores iniciais de atuação endógena e exógena que auxiliam na elaboração do sistema-relevo, uma vez que a movimentação interna nos reajustes das camadas auxiliam no aparecimento dos diaclases na rocha, promovendo a erosão natural que associado aos processos erosivos, condicionam a formação de tabuleiros associado à pediplanos de sedimentação no interior das bacias.

**Figura 19 - Unidades geomorfológicas do perímetro das voçorocas, 2017**



**Unidade de Tabuleiro:** Superfícies elevadas com altimetria máxima encontrada de 480 metros. Apresenta-se uma predominância de vertente no formato Convexo-Côncavo (cx-cc) obtendo um topo achatado ocasionado pela ação erosiva pretérita, assim como quebras altimétricas abruptas evidenciando feição de escarpa de erosão, formando assim, a concavidade no terço-médio ao inferior da vertente (figura 20).

Associado ao padrão de vertente tem-se o alinhamento horizontal dos sedimentos já consolidados sendo desgastados por processos erosivos atuais que levam detritos na formação do tálus que estabelece ligação do tabuleiro com os plainos de acumulação (pediplanos intermontanos). Sua morfodinâmica atual apresenta-se em constante estado de resistasia devido aos processos de desequilíbrios ocasionados pelos processos erosivos que levam a sucessivas retiradas de material sedimentar, promovendo reajustes laterais do tabuleiro.

Os processos de evolução do tabuleiro, na perspectiva de Christofolletti (1980) e Penteado (1980), são dinamizados a partir da entrada de energia pela ação dos elementos exógenos, que promovem a retirada da matéria (detritos) do terço superior e médio do sistema-vertente, e logo mais, tal material é deposição na área de do tálus, sendo esta, zona do *output* do sistema-vertente.

**Figura 20** - Vista panorâmica do tabuleiro, exibindo os planos de estratificação horizontal



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.



**Unidade de Pediplano Intermontano:** Se constituem enquanto plainos de acumulação com altimetria local de 230-130 metros. Forma-se a partir do entulhamento de antigos níveis de base do relevo local já evidenciados por Bigarella (et al., 2007), a qual é constituído o material detrítico retirado dos tabuleiros principalmente por processos erosivos, condicionamentos climáticos pretéritos e reajustes tectônicos. O material depositado consolida-se em extensos pediplanos que são suavemente retrabalhados pela drenagem intermitente local do rio Itapicuru (figura 21 e 22).

**Figura 21** - Tabuleiros intercalados no pediplano intermontano entulhadas por sedimentos.



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.



**Figura 22** - Espacialização das unidades de tabuleiros e pediplanos, evidenciando o retrabalhamento do rio itapicuru nos plainos de acumulação local.



Fonte: Google Earth, 2018.

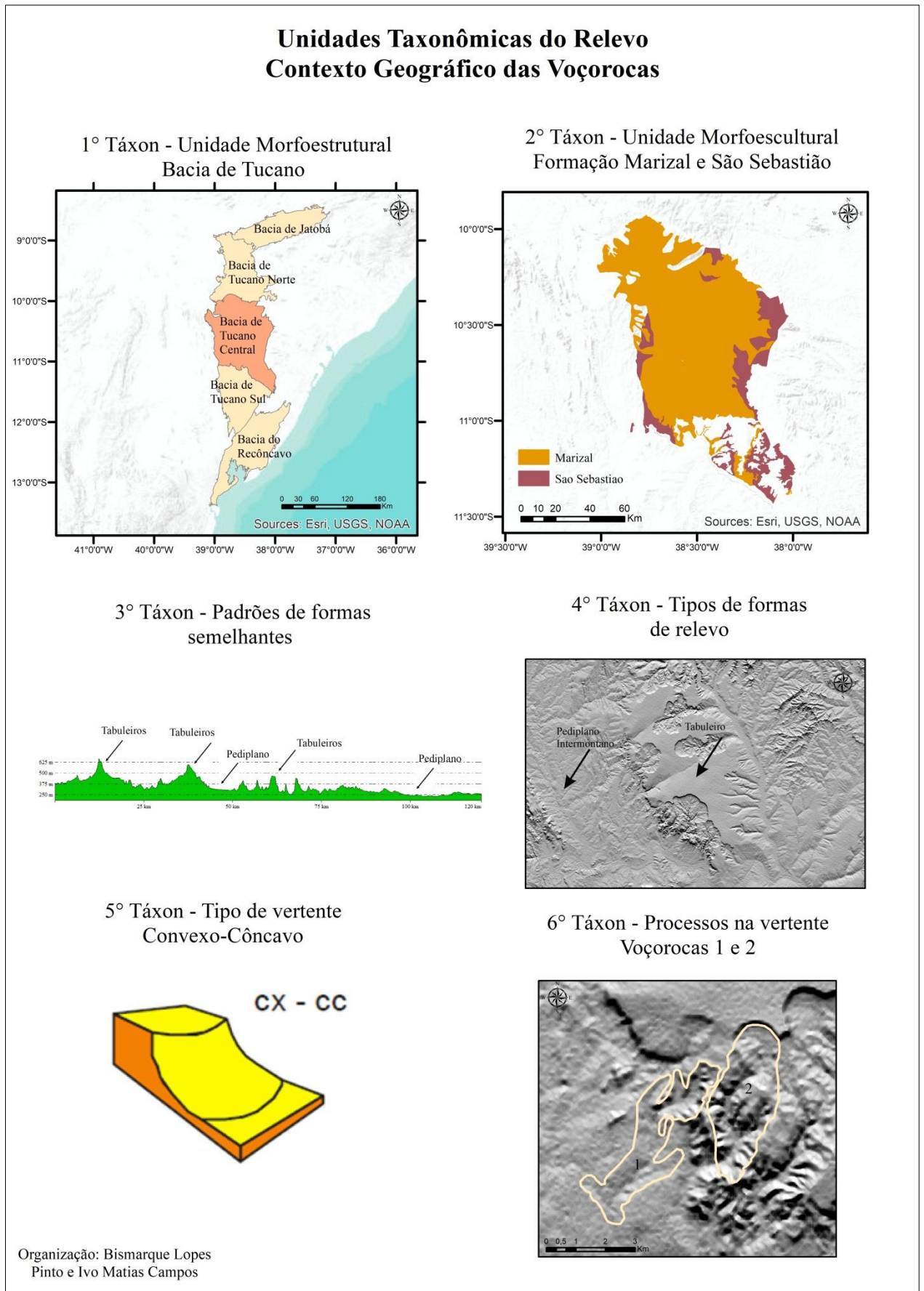
Compreendendo que as unidades geomorfológicas sob as voçorocas estão condicionadas há um sistema de maior proporção natural, o método taxonômico de Ross (1992) nos auxilia na compreensão da dinâmica do relevo em suas diversas escalas. Neste sentido, observando a taxonomia da área em estudo, observa-se que a Sub-Bacia de Tucano Central funciona como a morfoestrutura de destaque a qual é responsável pelo controle na movimentação e organização de matéria e energia para a modificação do relevo em seu interior, sendo assim o 1º táxon de acordo com a grandeza estabelecida pelo método (figura 23).

O 2º táxon pode ser compreendido pelas unidades geológicas de maior representatividade na sub-bacia de tucano central e em especial no perímetro das voçorocas, sendo estas as formações de Marizal e São Sebastião, que dentro do sistema, são os principais fornecedores de matéria para a dinamização do sistema.

O 3º táxon apresenta-se nos padrões de formas de relevo, a qual tem-se a predominância do padrão de tabuleiros associado a pediplanos intermontandos, fisionomias associadas a relevo de interior de bacias de sedimentação. O 4º táxon se conigura enquanto as unidades já descritas acima, sendo responsáveis pela diferença morfoescultural no interior da sub-bacia, organizadas em tabuleiros e pediplanos intermontanos.

O 5º táxon associa-se ao modelo de vertente, a qual tem-se na área uma configuração Convexo-Côncavo (cx-cc) já descrito nesta pesquisa. O 6º e último táxon, é representado pelas atuais feições erosivas a qual segundo Ross (1992), são geradas a partir das ações geomórficas atuais com o intermédio da ação antropogênica ou não. As voçorocas se constituem enquanto momentos de desequilíbrio dentro do sistema de táxons, influenciador direto na reorganização e mudança no sistema morfoestrutural a começar pelas mudanças nos padrões de vertente e nas unidades de relevo morfoescultural.

**Figura 23** – Mapa taxonômico da área em estudo nas suas diferentes escalas.





### 3.4. CLASSES PEDOLÓGICAS

A formação da cobertura pedológica no semiárido baiano está vinculada aos processos de composição do domínio morfoclimático da caatinga com predominância do clima semiárido. A principal variação na formação dos solos do semiárido é a dinâmica meteorológica que influencia diretamente no intemperismo, além de outros fatores secundários, a exemplo da caatinga xerófila.

No perímetro de abrangência das voçorocas 01 e 02, verifica-se a ocorrência de 02 classes de solos, tais como: Latossolos Amarelo distrófico (LAd) e o Planossolos Háplicos Eutróficos (SXe) (figura 24). A classe dos Latossolos Amarelo Distrófico (LAd) possui uma estrutura evoluída em termos de intemperização do material primário, apresentando espessura de 150 a 300 cm. A sua coloração amarelada resulta por conta da presença de ferro na composição química do solo (EMBRAPA, 2006).

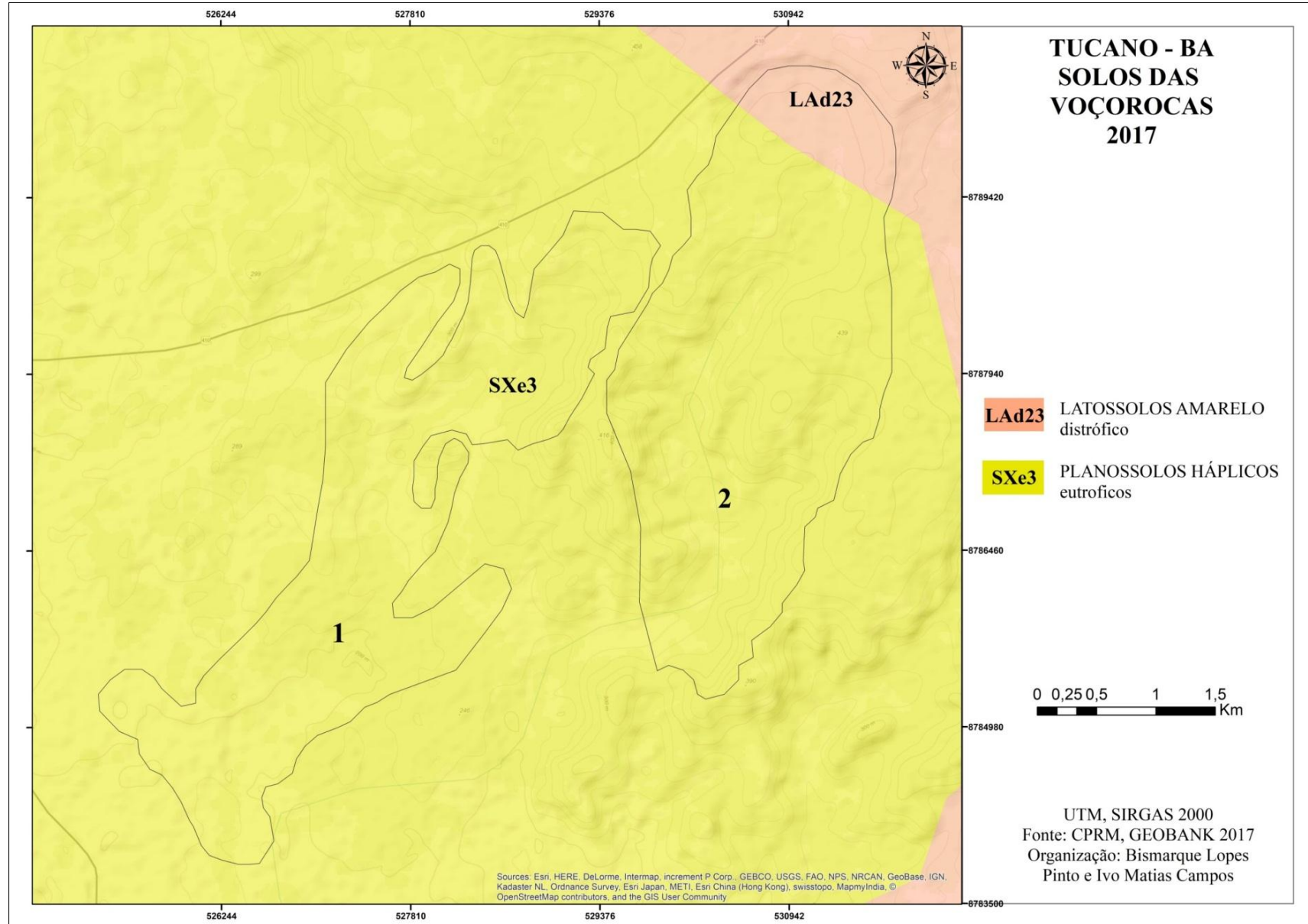
A presença do horizonte B latossólico denuncia a ação da lixiviação do mineral de ferro, estágio avançado de intemperização, bem como o acúmulo de argila 2:1 que é a composição química predominante da Sílica (Si) sobre o Alumínio. O caráter distrófico está associado à baixa saturação da base, por conta dos processos de lixiviação e retirada dos componentes básicos nutritivos do solo (EMBRAPA, 2006; IBGE, 2007; LEPSCH, 2011). Na área das voçorocas, essa classe não possui uma abrangência expressiva, limitando-se apenas a uma pequena área de ocorrência no topo (terço superior) da voçoroca 02.

A classe dos Planossolos Háplicos Eutróficos (SXe), caracteriza-se por ser de má drenagem, podendo ocorrer concentração de areia no horizonte A e logo em seguida um acúmulo de argila no horizonte B, causando deficiência no sistema de drenagem do solo. Essa drenagem imperfeita promove a alta saturação nos SXe dando o caráter eutrófico ao solo (EMBRAPA, 2006, OLIVEIRA, 2008).

A presença do horizonte B plântico é um horizonte diagnóstico dos Planossolos tendo em vista a sua composição textural abrupta em relação aos horizontes A-E. Espacializando Planossolos Háplicos Eutróficos nota-se que a sua abrangência ocupa as dimensões areais da voçoroca 1, além do terço médio e inferior da voçoroca 02. Naturalmente as formações planossólicas estão associadas a zonas de aplainamento (IBGE, 2007, LEPSCH, 2011).

Este gradiente textural arenoso da classe SXe (classe de maior predomínio na área), já é trazido por Salomão (2009) e Bertoni e Lombardi Neto (2010) como um fator negativo para o desencadeamento do processo erosivo, pois a ausência de argila no horizonte superior, acaba deixando a cobertura pedológica com maior susceptibilidade ao efeito *splash* e a formação do escoamento superficial concentrado em períodos de chuvas torrenciais na área.

**Figura 24** - Classes pedológicas predominantes no perímetro das voçorocas, 2017



## 04. DINÂMICA EROSIVA E ORGANIZAÇÃO MORFOLÓGICA DAS VOÇOROCAS 01 E 02

---

*Placa de entrada para o complexo erosivo do buraco do vento que compreende as voçorocas 01 e 02 desta pesquisa de mestrado.*



*Fonte: Bismarque Lopes Pinto, 2017.*

**“Na vida, não existe nada a temer, mas a entender.”**  
***Marie Curi***

## 4.1. CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA VOÇOROCA 01

### 4.1.1. Declividade e variações altimétricas

Cada voçoroca possui um ritmo próprio de evolução morfológica, dada as semelhantes condições geoambientais. Neste sentido, a Voçoroca 01 (V1), levada a efeito neste capítulo, apresenta dimensão de aproximadamente 13,37 km<sup>2</sup> ao longo da vertente. A sua dinâmica erosiva está diretamente associada à forma da encosta, a qual, segundo os parâmetros de Ruhe (1975) exibe um perfil de encosta Convexo-côncavo (cx-cc) apresentando aspecto morfológico de topo convexo com o reajuste por achatamento pela atuação dos processos erosivos pretéritos associados a forte declividade de quebras abruptas de altimetria para a transição ao segmento côncavo.

No terço médio e inferior da vertente, possui uma forma retilínea em formato de rampa, típico de vertente recoberta por camadas de sedimentos erodidas por processos anteriores de desgastes naturais resultantes da evolução dos tabuleiros, formando por consequências, extensos cones de dejeção. O formato de rampa estabelece uma conexão com as superfícies aplainadas que são generalizadas entre as formas tabuliformes.

O modelo convexo-côncavo exibido na vertente influencia no aceleração do fluxo das águas pluviais, possibilitando a formação de sulcos e ravinas. As cotas altimétricas mais elevadas entre 332 a 430 metros, localizam-se no topo do canal principal da Voçoroca 01, juntamente com a formação dos canais secundários 01 e 02 (figura 25).

Nesses níveis altimétricos, a cabeceira da voçoroca assenta-se sobre o topo do tabuleiro, sendo constantemente retrabalhadas por processos de ravinamentos que se disseminam na porção superior, formando assim, uma estrutura íngreme, com declividades de 20-45% a 45°-75% (figuras 26 e 27). Seguindo as proposições de Ross (2010), em tais níveis, predominam feições convexas e com níveis superiores a 30% de declividade, apresentando morfologias aguçadas e com forte entalhamento.

As cotas altimétricas e planos de declividade apontados acima corroboram com a perspectiva de Lepsch (2002) e Bertoni (2010) ao aponta que nesses gradientes de inclinação superiores a 30%, a própria vertente induz naturalmente ao processo erosivo, favorecendo ao escoamento superficial concentrado que ganha maior energia por conta da modelagem da vertente.

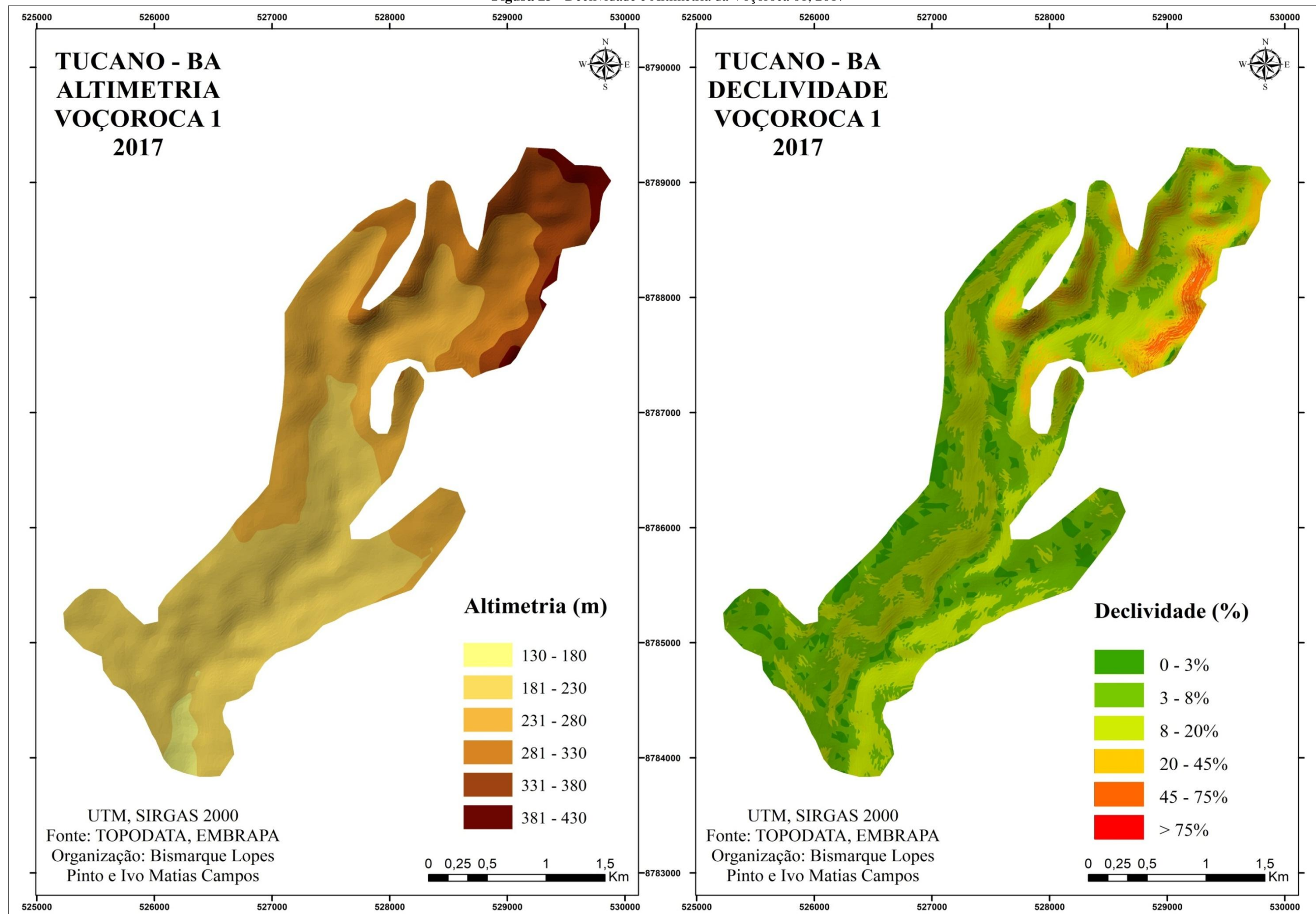
Para Braun (1961), encostas com predomínio de formas convexas ou côncavas aumentará significativamente a chances de erosão em lençol e mais rapidamente a erosão por

fluxos superficiais concentrados, desenvolvendo assim, sulcos, ravinas e voçorocas. De acordo com Guerra (2011) a atribuição conjunta de planos altimétricos elevados com modelagens íngremes de encosta se constituem enquanto fatores essenciais para o rompimento acelerado da camada superficial do solo por efeito splash e posteriormente, este material retirado é induzido ao transporte pela energia cinética da água que ganha força pela descida natural da vertente, fazendo evoluir o fluxo superficial concentrado.

O segundo setor de abrangência altimétrica no interior da voçoroca situa-se entre 231 a 280 metros de altitude. Nesse intervalo de classe, se encontra a área de maior abertura do canal principal, apresentando uma variação em torno de 3% a 20% de inclinação, formando assim, uma área aberta com maior rebaixamento (figura 28). Nesse segmento, Ross (2010) sugere uma dissecação de pouca intensidade, resultante de diversos processos erosivos anteriores que já retrabalharam a área.



Figura 25 - Declividade e Altimetria da Voçoroca 01, 2017





**Figura 26** - Processo de ravinamento na cabeceira do canal principal da V1 a 330 metros de altitude entre 45 a 75% de inclinação



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.

**Figura 27** - Ramificações de sulcos e ravinas no topo do canal secundário 01 da Voçoroca 01, a 290m de altitude e 20 a 45% de declividade.



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.



**Figura 28 A, B, C, D** - Segmentos da dimensão espacial do canal principal da voçoroca 01.



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.



No setor inferior da voçoroca 01, encontra-se uma altimetria suavizada com variação de 130 a 230 metros, intercalados com planos de declividade entre 0° a 3°. Neste intervalo de classe, verifica-se a predominância de parte do material coluvional proveniente dos níveis altimétricos mais elevados da voçoroca, formando cones de dejeção, que segundo Ross (2010) o próprio nível de declividade já indica uma dissecação fraca com superfícies planas (figura 29).

**Figura 20 A, B** - Bancos de sedimentos retirados dos níveis superiores da voçoroca 01



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.

#### 4.1.2. Organização morfológica externa e interna

A organização morfológica da voçoroca 01 é uma resposta do processo evolutivo pretérito, associado às feições que ali foram modeladas de acordo com a dinâmica erosiva do sistema de degradação na vertente. Neste sentido, a variação externa e interna das morfologias existentes se constituem parâmetros base para a identificação do grau evolutivo da voçoroca e sua consequente perda de solo.

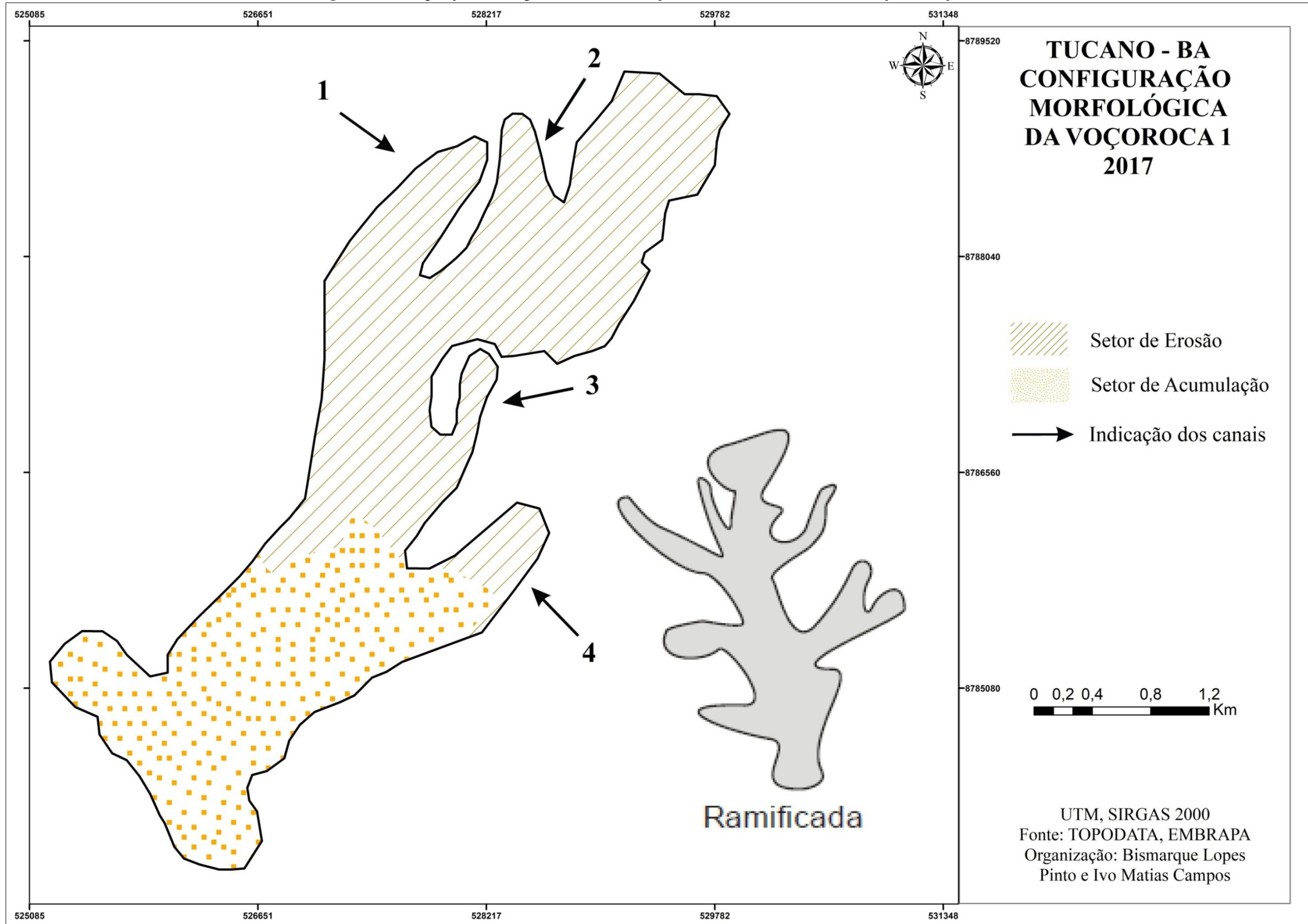
De acordo com os parâmetros estabelecidos por Bigarella e Mazuchowski (1985), a Voçoroca 01 apresenta uma morfologia ramificada, com diversos fluxos irregulares que levam ao escoamento de um único fluxo principal (figura 30). Essa voçoroca apresenta 04 (quatro) canais secundários e um canal principal. Dois canais secundários localizam-se em seu terço superior, enquanto os outros dois no terço inferior.

De acordo com Vieira (2008), o predomínio da forma ramificada, denuncia uma evolução em média escala do processo erosivo, tendo em vista que já não há apenas um ou dois fluxos superficiais concentrados, mas sim, diversos fluxos que convergem em um único canal de recebimento de toda essa carga de matéria e transportada pelas águas pluviais. A feição ramificada geralmente é encontrada em vertentes onde já se encontra em níveis consideráveis de rebaixamento, possivelmente provocados pela atividade erosiva em suas formas antigas (linear ou ramificada).

Levando-se em consideração os níveis altimétricos do relevo, divide-se a área que envolve a Voçoroca 01 em dois terços. O terço superior corresponde a 9,12 km<sup>2</sup> da área com predomínio de atuação dos processos erosivos, sem a formação de bancos de sedimentos (figuras 31 e 32), e o terço inferior, que corresponde a 4,24 km<sup>2</sup> da área, considerada de sedimentação, por não apresentar nenhum canal secundário com forte atuação erosiva, mesmo apresentando sucessivos cones de dejeção, oriundos de transporte do material erodido do terço superior (figura 33).

Ainda no terço inferior da voçoroca, observa-se que a vertente apresenta uma inclinação suave, com variação entre de 0% a 3% favorecendo o desenvolvimento de cones de dejeção do canal principal da Voçoroca 01, além disso, identifica-se na área, a instalação da comunidade Quilombola “Tucano de Fora”, bem como propriedades privadas que se utilizam da área aplainada com considerável quantidade de sedimentos depositados ainda em processo de consolidação, para a construção de casas e pequenas atividades agrícolas (figura 34).

**Figura 30** - Configuração morfológica externa e setorização das unidades de erosão e acumulação da Voçoroca 01





**Figura 31** - Processos erosivos com forte entalhamento no canal secundário 01, apresentando incisão vertical de 15,36 metros



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.

**Figura 32** - Complexo erosivo no canal secundário 03, com incisão vertical de 10,23 metros



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.



**Figura 33** – Cone de dejeção no terço inferior da V1 resultante do processo erosivo atuante no terço superior



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.

**Figura 34** - Área de deposição no terço inferior da V1, utilizada para agricultura de pequeno porte pelo morador da comunidade quilombola “Tucano de Fora”.



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.



A estrutura interna da voçoroca 1, apresenta elementos diferenciados em toda extensão da feição erosiva. O primeiro elemento é o desnível altimétrico interno. Em atividade de campo, observou-se que no interior dessa voçoroca, com dimensões areais de 13,37 km<sup>2</sup>, há uma variação considerável dos níveis de entalhamento vertical (sub-aberturas internas), formando assim, ravinas de 32cm de profundidade, além de ocorrer incisões de maiores proporções, variando de 06 até 19 metros de profundidade (figuras 35, 36 e 37).

A justificativa pertinente para a apresentação de feições erosivas diferenciadas no interior da voçoroca 01, de acordo com Bigarella *et al.* (2007) e Guerra (2011) é a forma irregular do escoamento superficial concentrado devido ao fator chuva que no ambiente de semiáridéz, a pluviometria não é distribuída de forma regular durante os meses do ano, fazendo assim, períodos de torrencialidade, induzindo ora abertura de canais profundos, e em periodos de chuva de menor pluviometria, na abertura de pequenos sulcos.

Considerando as proposições de Bertoni e Lombardi Neto (2010), outro fator está na variabilidade do gradiente textural da cobertura pedológica, tendo em vista que apesar das bases apresentarem duas unidades de solos, é perceptível que há uma variação significativa do teor de matéria orgânica, organização dos poros e da distribuição de areia e argila ao longo da vertente e sobre uma mesma classe pedológica. Observando esses dois elementos, associando ocorrência torrenciais com solos de maior susceptibilidade e declividade superior a 30%, teremos o início do processo erosivo.

**Figura 35** - Ravina de 32 cm de profundidade por 19 cm de largura no canal secundário 02



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.



**Figura 36** - Incisão vertical de 6,12 metros no canal secundário 02



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.

**Figura 37** - Incisão vertical de 18,37 metros de profundidade no canal secundário01



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.



Essa variação nos entalhamentos, nada mais é do que uma resposta ao grau de **coesão** do material geológico, que impõe, naturalmente, resistência quando o fluxo de água pluvial percorre essas áreas promovendo a erosão por escoamento superficial concentrado e/ou difuso. Entre as aberturas de maiores proporções, observa-se a resistência do material sedimentar em blocos rochosos, dando às feições, em determinadas situações, aspecto de morfologia bifurcada na encosta dos canais secundários 01 e 02 (figura 38). Esses blocos no interior das incisões erosivas, permanecem em constante desgaste físico-químico no decorrer do tempo, tanto pela ação eólica, como pluvial, principalmente, nos períodos de chuvas torrenciais.

**Figura 38** - Incisão vertical de 13,21 metros com a presença de blocos rochosos no seu interior proporcionando a bifurcação da estrutura erosiva



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.

O canal principal apresenta uma incisão de maior alargamento, porém, com menor profundidade, tendo em vista que os canais secundários depositaram em seu interior, toda a sedimentação que foi retirada durante a ação das chuvas (figura 39). É interessante observar que, o canal principal, por conta de seu alargamento, durante décadas serviu de estrada vicinal que ligava as cidades de Tucano à Ribeira do Pombal, fato este, que contribuiu, ainda mais, para a manifestação da erosão e alargamento do canal devido à contínua passagem de automóveis e animais (figura 40).



**Figura 39** - abertura do canal principal da V1, com uma sub-abertura horizontal interna de 21,57 metros.



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.

**Figura 40** - Área do canal principal da V1 utilizado como estrada vicinal de ligação dos municípios de Tucano a Ribeira do Pombal, atualmente com aberturas de ravinamento pela presença da ação humana.



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.



Os canais secundários 03 e 04, situados em patamares altimétricos mais baixos e declividades menores no terço inferior da Voçoroca 01, apresentam sub-aberturas internas recentes, com pequenas incisões erosivas superficiais e sem modificações de aprofundamentos verticais consideráveis, registrando, inclusive, sedimentos no interior das ravinas (figura 41 e 42). Observou-se em campo, que tais canais 03 e 04 são entalhamentos mais recentes do que os canais secundários 01 e 02, por não apresentarem uma morfologia interna diferenciada e nem presença de blocos rochosos no interior das incisões.

A partir da constatação em campo, percebe-se que o canal 04 é mais antigo que os demais canais, sendo já entulhados pelos sedimentos depositados em tempos pretéritos e que atualmente estão novamente sendo erodidos por sulcos e ravinas que vem desenvolvendo e retrabalhando os canais, porém com profundidade e espessuras de menor dimensão. Essa constatação indica que a voçoroca 01 encontra-se ativa e num estágio intermediário evolutivo com a reativação de canais desativados anteriormente, mas que em tempos atuais reiniciaram a atividade erosiva, porém, sem a formação de morfologias internas até o momento.

**Figura 41** - Complexo de ravinas do canal secundário 03 com variação de profundidade de 32 a 43 cm, registrando a presença de sedimentos inconsolidados no interior de suas incisões.



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.

**Figura 42** - Ramificação de ravinas no canal secundário 04, com profundidade de 21 a 46 cm, com presença de sedimentos inconsolidados em seus canais



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.

De maior generalização nos canais secundários e principal da voçoroca 1, observou-se o aparecimento de crostas na camada superficial (figura 43). Este fenômeno **dificulta** a infiltração vertical da água pluvial, aumentando, assim, o escoamento superficial concentrado e gerando queda de blocos pela atividade erosiva que é constante na área. O principal aspecto observado na formação de crostas na camada superficial do solo é a sua coloração amarronzada que diferencia claramente da coloração avermelhado-amarelada do material pedológico e geológico predominante na área.

O processo de saturação ou formação de crostas na camada superficial do solo pode influenciar na ocorrência do escoamento laminar, de forma generalizada, como as observadas na cabeceira do canal principal da voçoroca 1, causando em períodos chuvosos, pequenos escoamentos superficiais difusos que transportam o material pedológico superficial (figura 44).

Para além das feições apresentadas, o canal principal da voçoroca exibe feições erosivas concentradas (sulcos e ravinas) em, praticamente, toda a sua dimensão, com valores de aprofundamentos variáveis, excetuando-se, as do terço inferior com predominância dos bancos de sedimentos. Por conta disso, as feições erosivas diminuem em quantidade e dimensões face ao acúmulo de material retirado e transportado do terço superior (figura 45).



**Figura 43** - Formação de crostas na camada superficial do solo, na borda da abertura do canal principal da V1



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017

**Figura 44** - Área de escoamento laminar com o aparecimento de escoamentos superficiais difusos na cabeceira da V1



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.

**Figura 45** - Processo de ravinamento evidenciado no canal principal da V1



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.

Os pedestais existentes nos canais secundários 01 e 02, ocupam de forma generalizada a área da Voçoroca 01. Pressupondo as características de Bertoni e Lombardi Neto (2010), os pedestais originam-se pelos processos de salpicamento associado à erosão superficial difusa laminar, onde os materiais granulares mais resistentes acabam formando os pedestais residuais (figura 46).

Associado as formações de pedestais, identificou-se a feição de escamamentos que, com base em Vieira (2008), é gerado pelo acúmulo do material sedimentar fino, sendo este, recoberto por camadas mais grosseiras de sedimentos em um único perfil. Essa formação dificulta a infiltração vertical das águas pluviais, auxiliando no fechamento dos poros do solo, e com isso, causando o aceleração do escoamento superficial (figura 47).

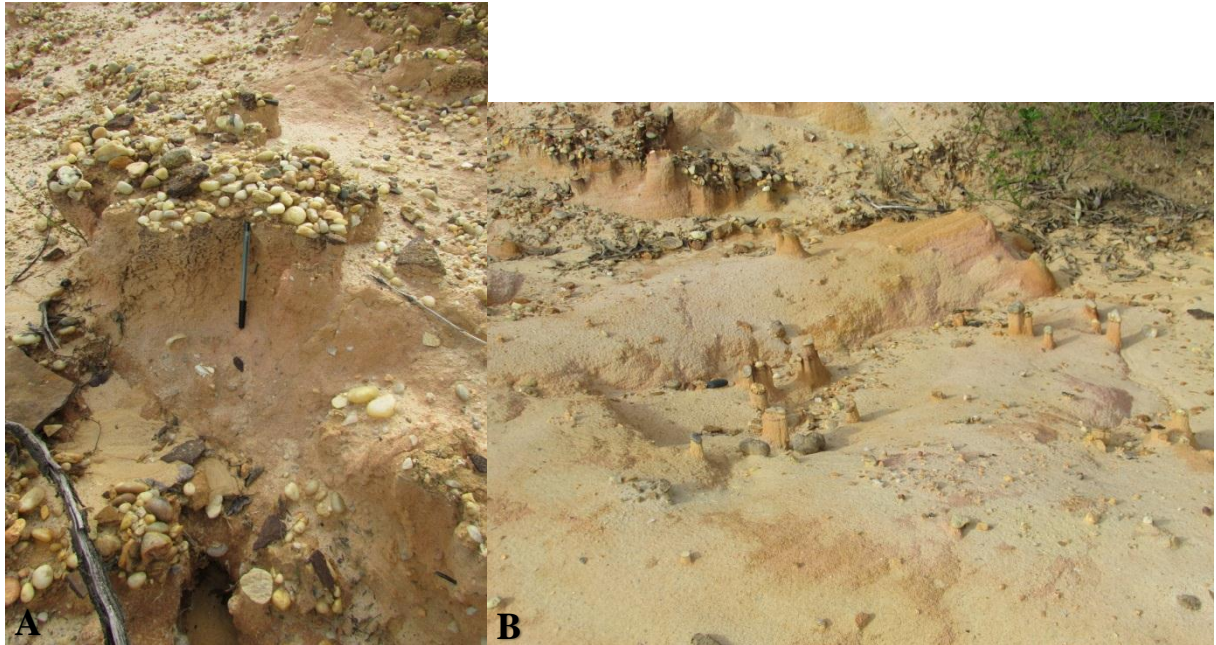
As formações de marmitas residuais estão associadas aos locais de desníveis altimétricos, onde ocorre o fluxo de água por turbilhonamento, afetando tanto as paredes das cicatrizes erosivas, quanto o fundo da voçoroca. As marmitas residuais, geralmente são evidenciadas na área de cabeceira da voçoroca, associado a processos de ravinamentos conforme visualizadas no canal secundário 02 da Voçoroca 01 (figura 48).

A morfologia de costelas se manifesta nas paredes da cabeceira da voçoroca evidenciando a diferença no grau de resistência do material pedológico ou geológico da área.



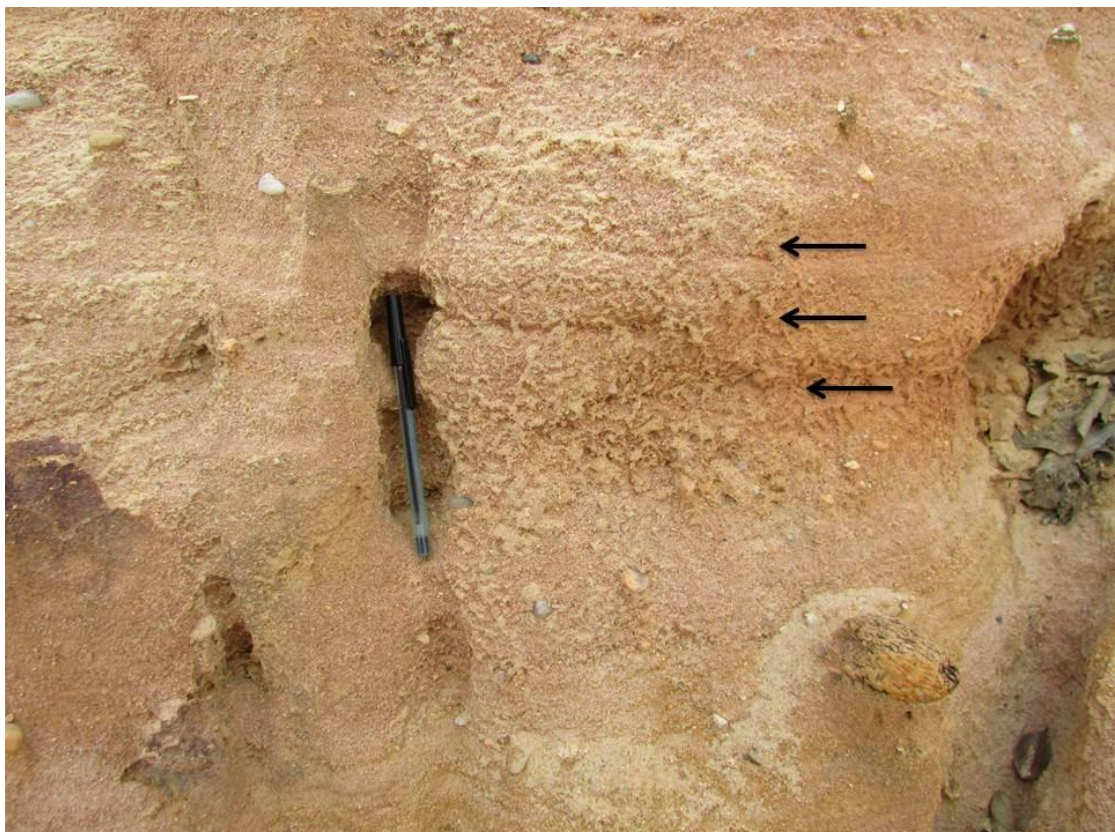
A costela forma aberturas horizontais por desagregação mecânica do material em oposição com camadas resistentes à erosão que ali permanecem (figura 49). Num processo de desagregação mecânica mais intensa, a costela poderá evoluir para marmitas residuais ou alcovas de regressão.

**Figura 46 A, B** - Formação da feição residual interna de pedestal no canal secundário 01, da V1



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.

**Figura 47** - Morfologia interna de escamamento na parede do canal secundário 02, da V1



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.

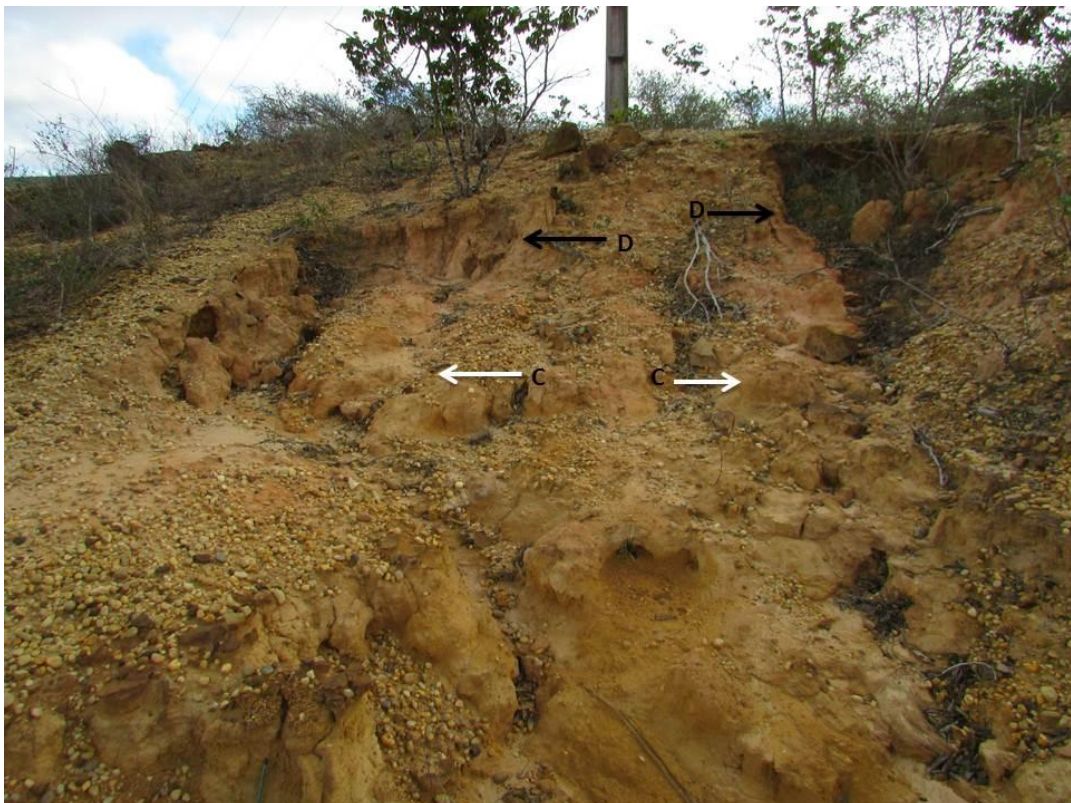


**Figura 48** - Formação de marmitas residuais paralelas à formação de ravinas difusas na parede do canal secundário 02, da V1



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.

**Figura 49** - Morfologia interna de costelas na cabeceira do canal secundário 02, da V1, com a presença do material resistente (Costelas = C, setas brancas) e o material erodido (pequenas depressões) menos resistente (Depressões = D, setas pretas).



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.



#### 4.1.3. Análise morfométrica, perda de solo e posicionamento topográfico na vertente

A morfometria possui relevância significativa porque avalia o grau quantitativo de aprofundamento da feição erosiva na vertente e o volume de solo que foi retirado e transportado para o terço inferior no desenvolvimento da voçoroca.

Analizando a posição topográfica da Voçoroca 01 na vertente, observa-se que nos dias atuais, esta feição erosiva não possui ligação direta com a rede de drenagem do rio Itapicuru, a qual localiza-se ao sul do relevo local (figura 50 e 51). Por conta desse distanciamento da drenagem, afirma-se que a voçoroca 01 é desconectada do sistema hidrográfico quando se posiciona entre os terços superior e médio da vertente.

De acordo com a classificação de Oliveira (2009), as voçorocas desconectadas são consideradas iniciais e por conta de sua pequena extensão na vertente que ainda não estabelecem ligação com a rede de drenagem local. Contudo, vale destacar que possivelmente em condições climáticas pretéritas, onde a configuração atmosférica evidenciava um clima úmido, a voçoroca estabelecia uma condição de integrada com o Rio Itapicuru, mas que, dada as condições de semiáridez e com as mudanças do nível de base da drenagem do Itapicuru, a voçoroca 01 desligou-se da drenagem, deixando na paisagem, extensos plainos de acumulação que formam os pediplanos intermontano.

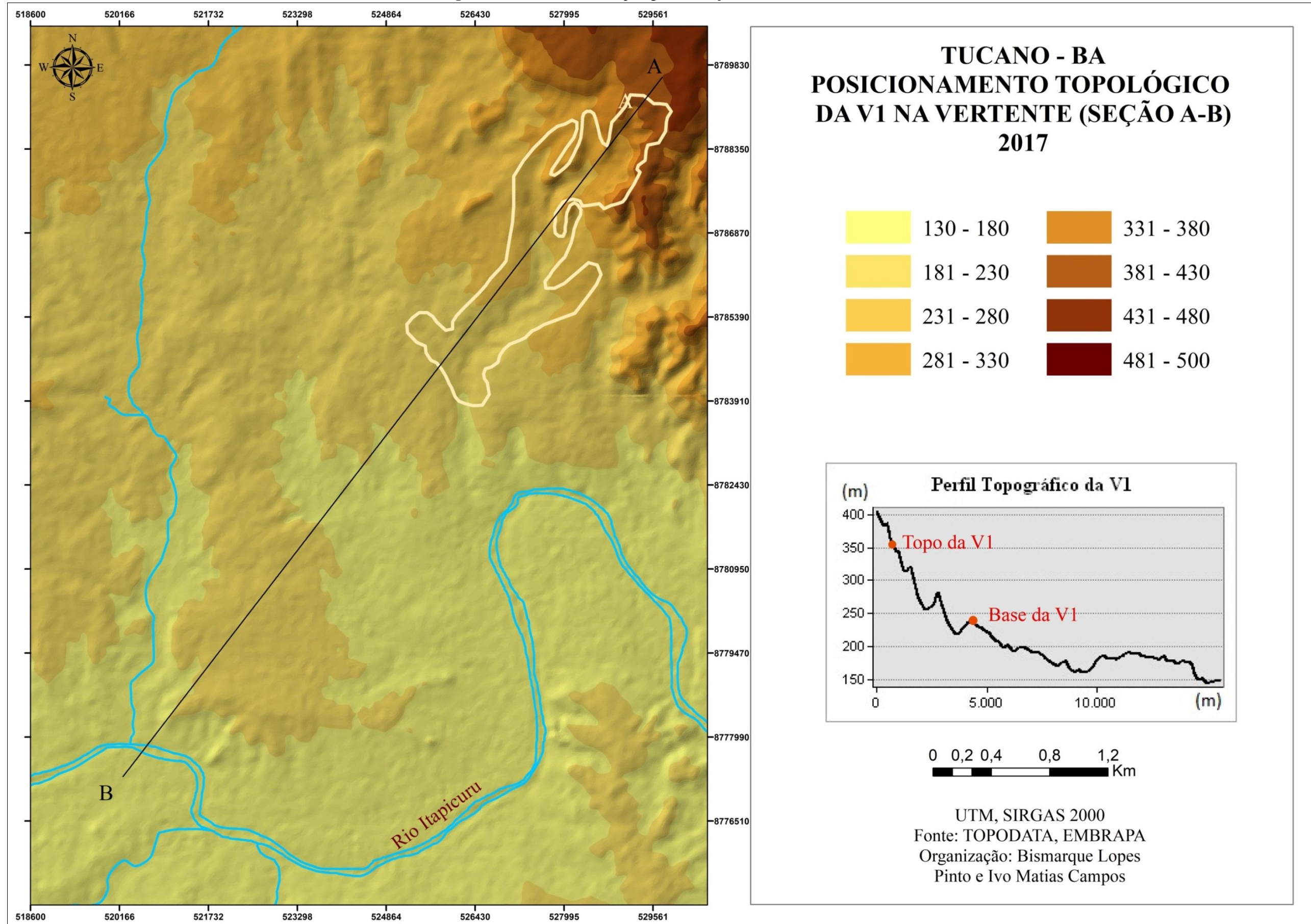
**Figura 50** – Desconexão da Voçoroca 01 perante a drenagem do Itapicuru.



Fonte: Google Earth, 2018.



**Figura 51** - Posicionamento tipológico da Voçoroca 01 na vertente, 2017



Observa-se no perfil topográfico que o processo de incisão na vertente começa na queda abrupta da altimetria, evidenciada no topo da voçoroca 1. A variação altimétrica dessa voçoroca na vertente é de 150 metros, do topo até a base, com desenvolvimento de banco de sedimentos.

Para obtenção de maior detalhamento morfométrico da voçoroca 1, elaborou-se perfis topográficos e fez-se levantamento de dados quantitativos relativos aos 04 canais secundários e principal da voçoroca 01. Neste aspecto, a tabela 03 mostra a variação quantitativa de aprofundamento vertical e horizontal dos canais e o volume médio erodido de cada canal secundário e do canal principal da voçoroca 1.

**Tabela 3** - Dados morfométricos e do volume médio erodido da Voçoroca 01

Dimensões	Valores	Dimensão em km²	Perda média de solo em m³	Parâmetro correlativo entre volume médio erodido com o estabelecimento do tamanho da voçoroca.
Canal Principal da V1:				
Comprimento	6,030 km	11,888 km²	2,423 m³	Pequena
Largura	1,970 km			
Profundidade	204 m			
Terço Superior (Setor de Erosão)			1,58 m³	
Terço Inferior (Setor de acumulação)			837 m³	
Canal Secundário 01				
Comprimento	1,62 m	740 m²	18 m³	Muito Pequena
Largura	456 m			
Profundidade	25 m			
Canal Secundário 02				
Comprimento:	752 m	226 m²	9 m³	Muito Pequena
Largura:	300 m			
Profundidade:	40 m			
Canal Secundário 03				
Comprimento:	688 m	142 m²	1,7 m³	Muito Pequena
Largura:	206 m			
Profundidade:	12 m			
Canal Secundário 04				
Comprimento:	900 m	381 m²	2 m³	Muito Pequena
Largura:	423 m			
Profundidade:	6 m			
Total:		13,377 km²	2,453 m³	Pequena

Fonte dos dados: Coleta de dados em programa ArGis e Trabalho de campo, 2017.

A análise dos perfis do canal principal mostra diferenças significativas no nível de entalhamento verificado no canal, principalmente, nos terços superior e inferior (figura 52). Os perfis transversais e longitudinais do terço superior (setor de erosão) da Voçoroca 01 evidencia que neste setor, a voçoroca aprofunda um entalhamento maior que 200 metros, sendo escavada por diversos processos difusos associados ao desenvolvimento de sulcos e ravinas sob o efeito do escoamento superficial das águas. Com os desníveis altimétricos constatou-se perda de  $1,58 \text{ m}^3$  de solo, cuja retirada contribuiu para a ocorrência de incisões verticais profundas.

O terço inferior (setor de acumulação) apresenta em seus perfis, áreas pontuais de entalhamento, associados a bancos de sedimentos. O volume médio erodido registrado neste setor foi de  $837 \text{ m}^3$ , sendo inferior a perda de material do terço superior, justificado por ser uma área de acumulação dos sedimentos e com menor intensidade erosiva. O comprimento total do Canal principal abrange mais de 6 km, com uma largura de mais de 1,97 km.

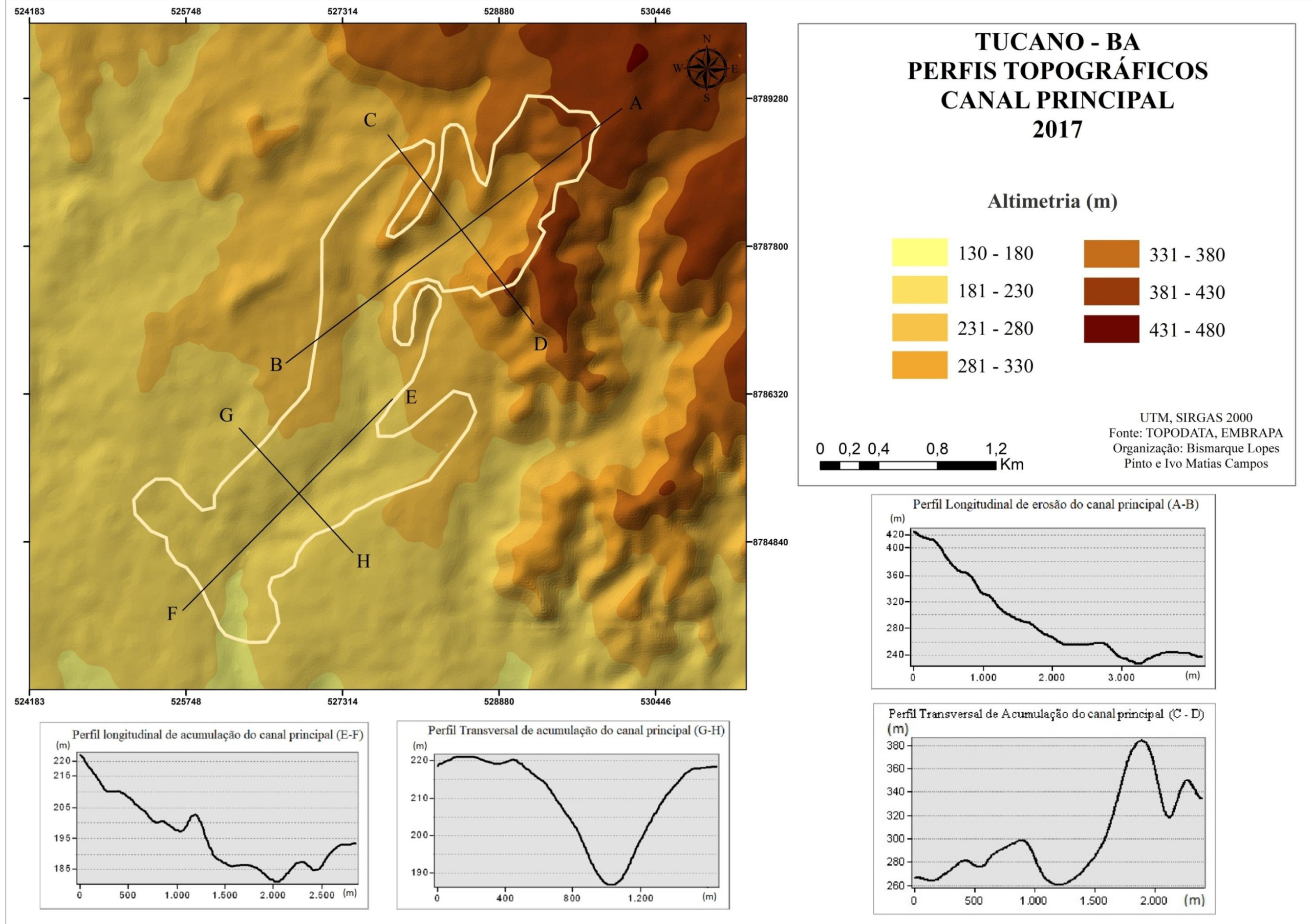
O canal secundário 01, com 1,62 km de comprimento, apresenta dimensão de  $740 \text{ m}^2$  e perda de solo de  $18 \text{ m}^3$ . Suas características morfométricas associadas aos perfis apresentam um canal fortemente erodido com entalhamentos verticais superiores a 10 metros, apresentando profundidade máxima de 25 metros (figuras 53 e 54).

No segmento do perfil longitudinal, não há registro de bancos de sedimentos, muito embora a 250 metros de altitude se constate a presença de blocos rochosos que se localizam no interior dos entalhamentos verticais. O canal secundário 01, considerando o volume médio erodido de  $18 \text{ m}^3$ , apresenta um parâmetro muito pequeno em relação aos valores pré-estabelecidos.

De acordo com Vieira e Albuquerque (2004), as voçorocas podem ser analisadas quantitativamente a partir dos seus dados morfométricos e perda de solo. Considerando os valores de comprimento, largura e profundidade, uma perda de solo de até  $999 \text{ m}^3$  a voçoroca é muito pequena, dimensões de  $1.000$  até  $9.999 \text{ m}^3$  é pequena,  $10.000$  até  $19.999 \text{ m}^3$  é média,  $20.000$  a  $40.000 \text{ m}^3$  é grande e valores superiores a  $40.000 \text{ m}^3$  é considerada uma abertura muito grande.

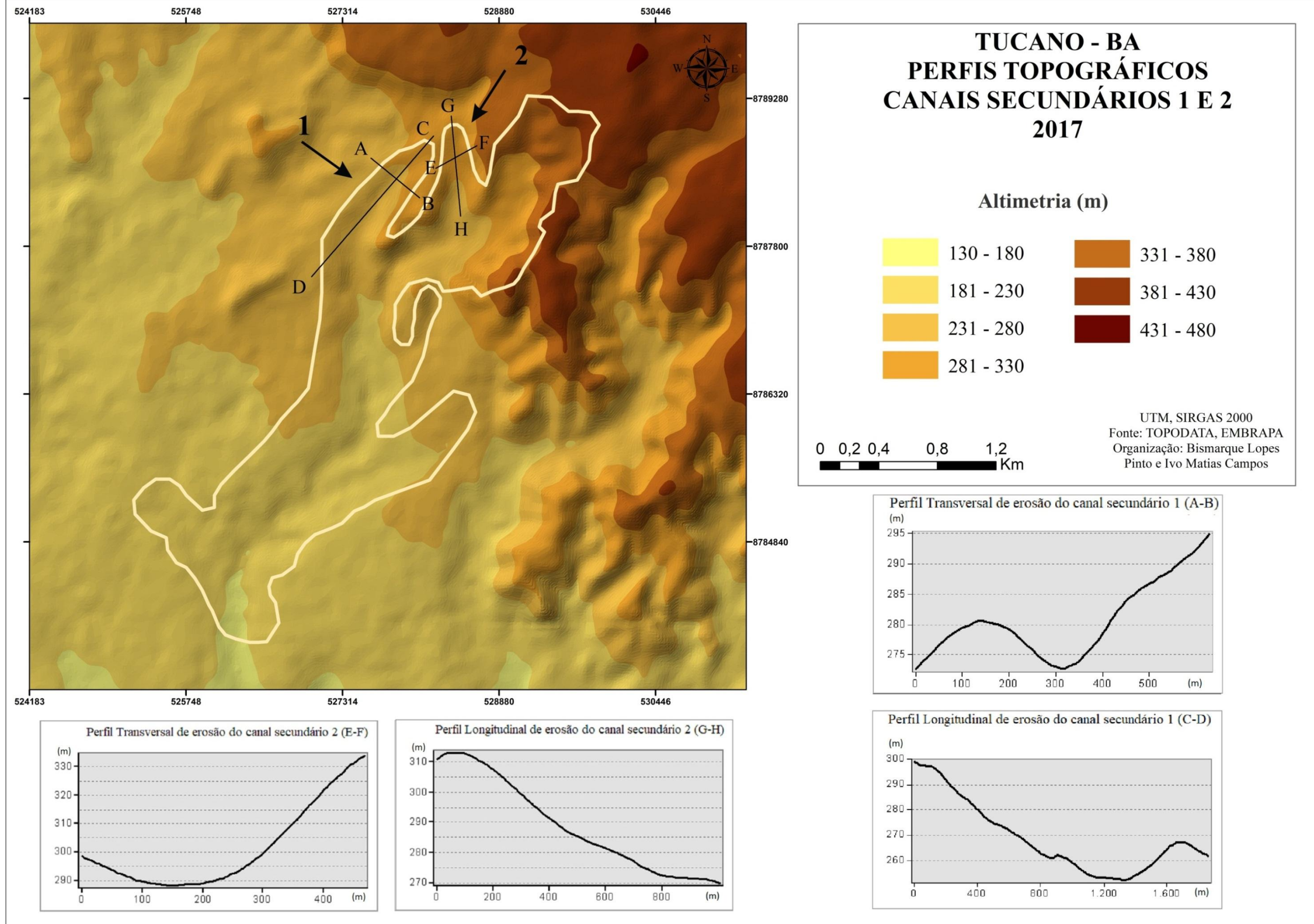


**Figura 52 - Perfis topográficos do canal principal da Voçoroca 01, 2017**





**Figura 53** - Perfis topográficos dos canais secundários 01 e 02, 2017





**Figura 54** - Medição de uma das aberturas irregulares com 10,30 metros de profundidade do canal secundário 01 da voçoroca 1



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.

O canal secundário 02 apresenta uma formação estrutural linear com 752 metros de comprimento e 300 metros de largura, atingindo a uma profundidade máxima de 40 metros. Diferencia-se do canal 01, que mesmo sendo metricamente menor, apresenta um maior entalhamento vertical. Sua dimensão é de 226 m<sup>2</sup>, com abrangência areal de 9m<sup>3</sup> de solo erodido. Os perfis do canal 02 exibem uma abertura significativa do canal erosivo, sem oscilações altimétricas, representando um entalhamento profundo do canal.

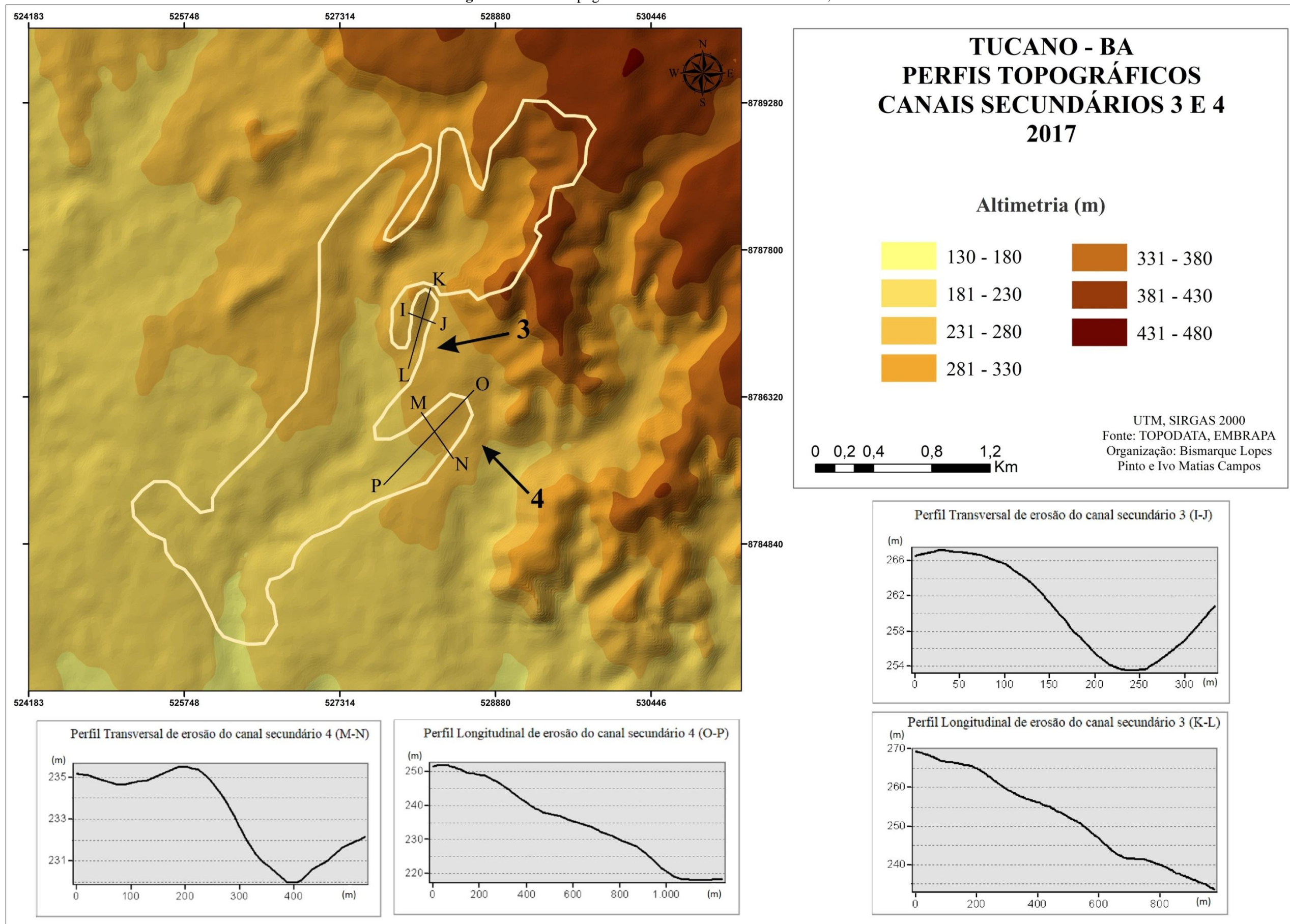
No setor de acumulação, o canal secundário 03 apresenta um comprimento de 688 metros e 206 metros de largura, resultando numa dimensão de 142 m<sup>2</sup>, com registro de perda de solo de 1,7 m<sup>3</sup>. Essa perda menor de solo em relação aos canais secundários 01 e 02, se dá pela sua localização geográfica no terço inferior da Voçoroca 01, que coincide com a área de recepção dos sedimentos erodidos oriundos do terço superior. A sua profundidade atinge apenas 12 metros, até mesmo pela ocorrência de bancos de sedimentos. A análise dos perfis ainda mostra que, o traçado morfológico apresenta aspectos de vertente convexo-retilínea devido à formação de bancos de sedimentos em toda extensão do canal (figura 55).

O canal secundário 04, também localizado no setor de acumulação de sedimentos da voçoroca 1, possui comprimento de 900 metros e uma largura de 423 metros. Sua profundidade máxima é reduzida a 6 metros, apresentando dimensões areais de 381 m<sup>2</sup> com um volume erodido de solo de 02 m<sup>3</sup>.

A representação morfológica dos perfis traçados no canal 04 reafirma o diagnóstico de um canal onde predomina os processos de acumulação de sedimentos. Em contrapartida as ações erosivas são fracas e sem entalhamentos verticais expressivos, formando inclusive, um canal com vertente convexo-retilínea, sobretudo, pelo acúmulo do material arenoso retirado do terço superior da Voçoroca 01 (figura 55).



**Figura 55** - Perfis topográficos dos canais secundários 03 e 04, 2017





## 4.2. CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA VOÇOROCA 02

### 4.2.1. Declividade e variações altimétricas

A Voçoroca 02 assemelha-se a voçoroca 01 pela posição que ocupa na vertente, além de se localizar sobre a mesma unidade tabuliforme. Essa feição erosiva se apresenta em diversos estágios evolutivos, com características morfológicas de vertente convexa em seu topo e concavidade sobre a base. Esse padrão de vertente exhibe seguimento com rompimento abrupto de declividade. Atualmente, o topo apresenta aspecto de achatamento num plano generalizado, denunciando um grau de dissecação elevado da morfologia pela atuação dos processos morfogenéticos pretéritos e atuais na área (figura 56).

**Figura 56** - Vertente Convexo-Côncava (cx-cc) sobre a Voçoroca 02. Seta preta: Indica o achatamento do topo do tabuleiro em processo de desgaste erosivo. Setas brancas: indicam a convexidade da vertente desgastada pelos processos erosivos até chegar ao contato com o fundo plano arenoso (seta vermelha).

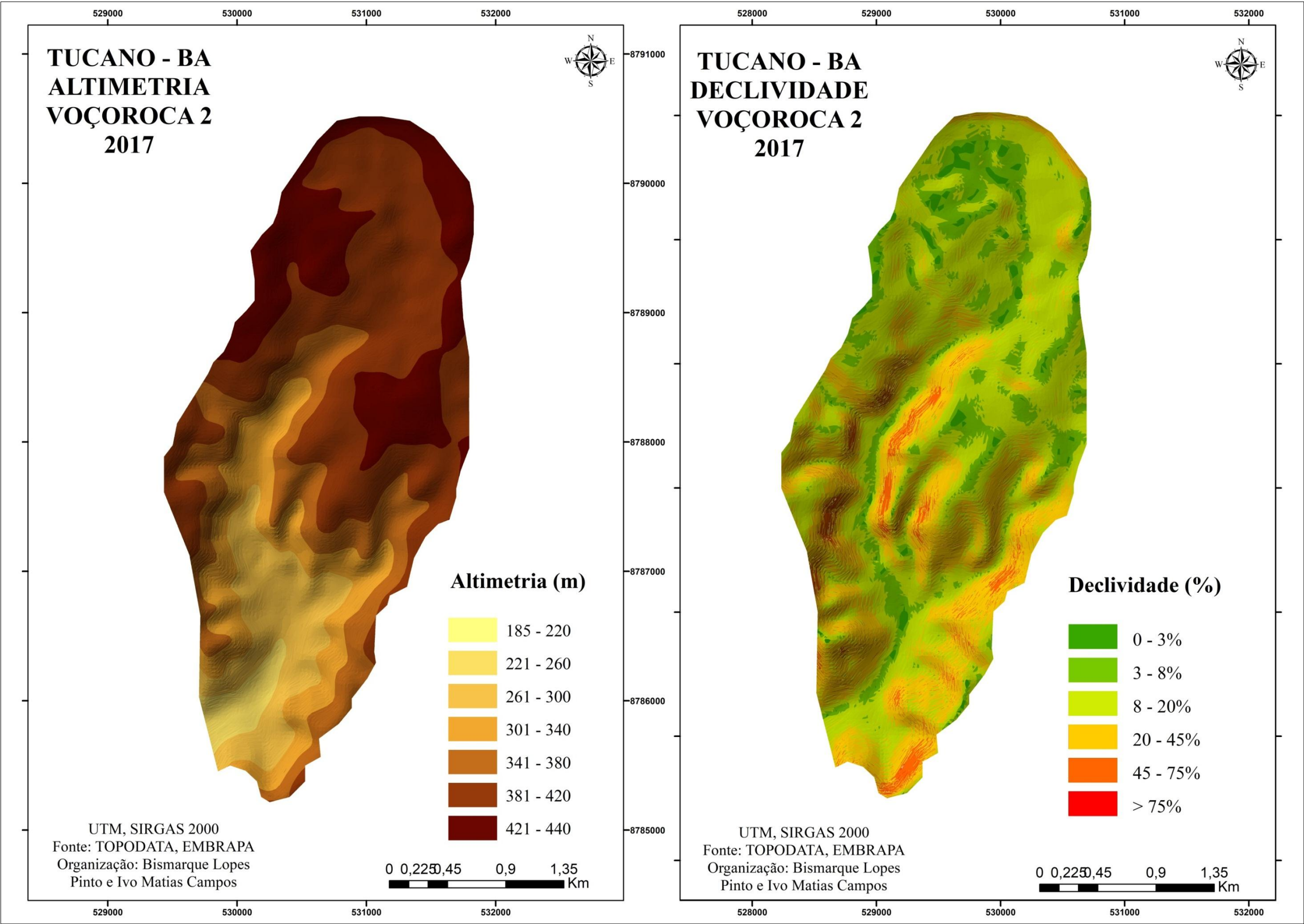


Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.

Observa-se nos mapas de declividade e altimetria que, a Voçoroca 02 se desenvolveu em um padrão diferencial de declividade e desnível altimétrico, que impulsionou seu processo evolutivo no relevo local (figura 57). Como se constata, a voçoroca 02, dadas as suas dimensões no terreno, expande-se sobre as classes de declividade 20-45% e 45-75%.

Neste condicionamento de inclinação, Bigarella *et al.* (2007) já aponta como o fator agravante para o aumento da velocidade da água, e por consequência, a desagregação mecânica do material pedológico pela ação difusa ou concentrada. A forte declividade em vertente é a maior responsável pelo surgimento de sub-aberturas e profundas incições erosivas recorrentes na cabeceira e borda oeste da voçoroca 02.

Figura 57 - Declividade e Altimetria da Voçoroca 02, 2017





Esse estágio declivoso proporciona a abertura de cicatrizes erosivas irregulares, com aprofundamento vertical e alargamento lateral (figura 58). A classe de declividade menos expressiva na voçoroca 2, é a de 20% de inclinação, restrita à parte interna do seu canal, apresentando uma zona de sedimentação ao sul, constituída de material transportado (figura 59).

**Figura 58** - processos erosivos sobre classes de declividade 20-45% e 45-75% no topo da vertente



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.

**Figura 59** - Sedimentação ao sul da voçoroca 2 na classe de declividade inferior a 20% e cota altimétrica de 220m



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.

No que pese aos aspectos de altimetria do relevo local de inserção da voçoroca 2, tem-se que, as cotas mais elevadas com intervalos de 440-420 e 420-381, favorecem o desenvolvimento de cicatrizes erosivas em maior quantidade, devido a presença de ruptura de declive acentuada entre o topo e a base da vertente. O elevado desnível altimétrico, aliado a atuação de diversos fatores naturais, a exemplo da água de escoamento superficial, provoca a perda de solo e queda de blocos rochosos, que por sua vez, abrem canais com profundidade superior a 6 metros e largura de pouca expressividade em torno de 47 cm (figura 60).

Ainda nas classes altimétricas com variações entre 301-340, 341-380 sobrepuja a erosão com bastante intensidade refletindo no desencadeamento de cicatrizes erosivas que se estendem por mais de 5 metros de comprimento, com profundidade variável de 43 cm até 67 cm. Observa-se, portanto, que na parte interna da voçoroca, nesse nível de altimetria, ainda é marcada pela forte inclinação do relevo, com registro de perda de solo (figura 61).

Em níveis mais baixos do relevo, com valores altimétricos variáveis de 261 até 185 metros, verifica-se a concentração de bancos de sedimentos, decorrentes dos processos de sedimentação, cujo material provém do terço superior e médio da vertente denunciando estágio de evolução da voçoroca 2. Nesta área, o processo erosivo se manifesta com baixa intensidade.

**Figura 60 A, B** - Cicatrizes erosivas com aprofundamento de 6 metros e largura máxima de 47 cm.







Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.

**Figura 61 A, B** - Processos erosivos difusos a 330 metros de altitude, com declividade de 20 a 45%





Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.

#### 4.2.2. Organização morfológica externa e interna

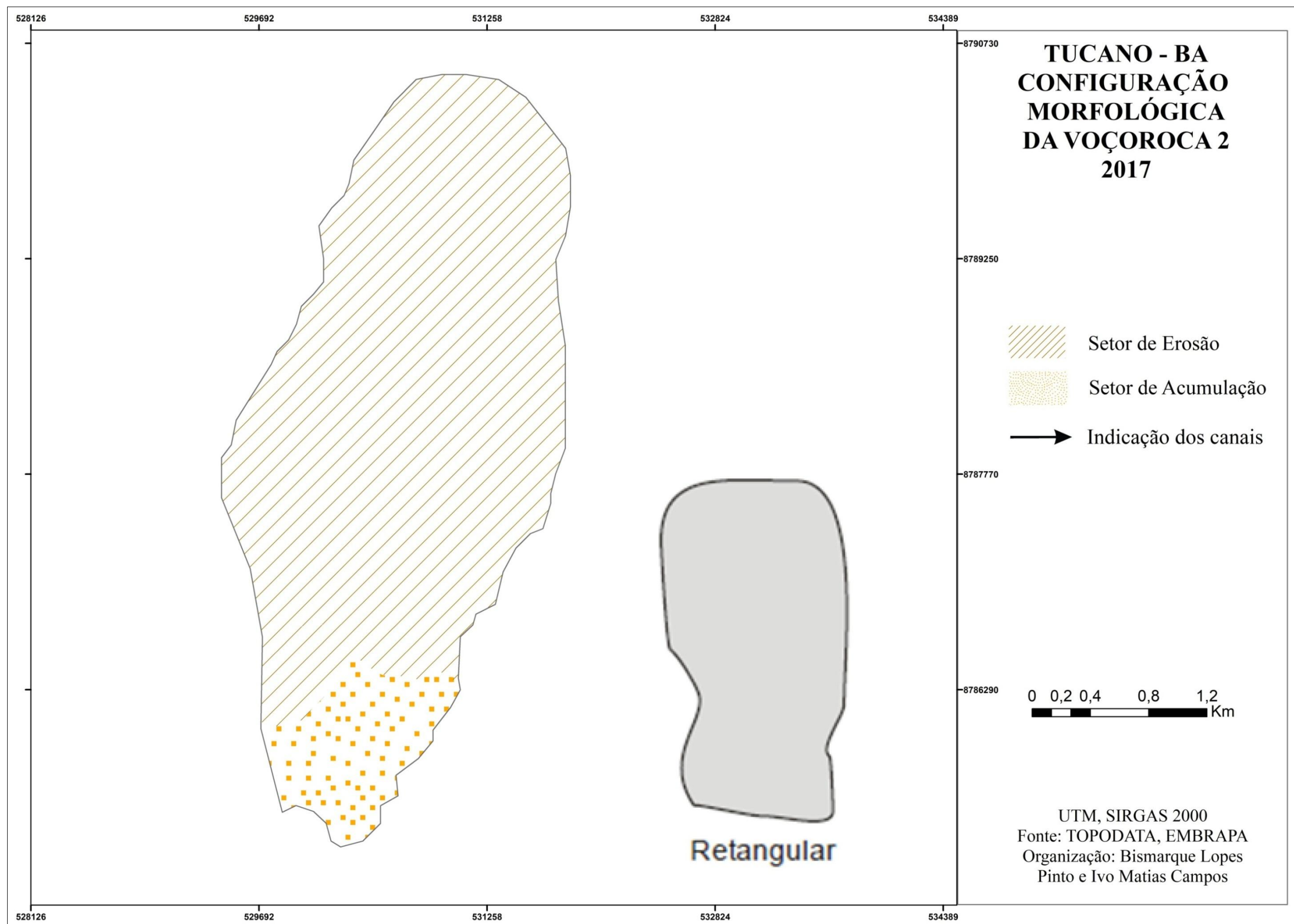
A morfologia interna e externa da Voçoroca 02, denuncia um ciclo evolutivo mais avançado em termos de dissecação do relevo, quando comparada com a voçoroca 1. O trabalho de campo *in loco* atesta elevado nível de entalhamento na vertente, evidenciando a ação de processos erosivos difusos que inibem a formação de canais secundários, devido principalmente, ao avançado grau de abertura transversal da voçoroca.

A voçoroca 2, desenvolve-se em um sistema erosivo retangular. A validação desse tipo de identificação se dá pelo fato de não apresentar a divisão física interna de canais primários e secundários, tendo em vista, a ocorrência de sequências erosivas de diversas dimensões que, por sua vez, acabam se conectando umas às outras quando rompem os bordos que separam os canais típicos de um sistema de voçorocamento (figura 62).

Com o avanço dos processos erosivos internos, a morfologia externa ganhou uma feição retangular típica da classificação teórica de Bigarella e Mazuchowski (1985) que entendem esta feição como sendo o último estágio de um voçorocamento, onde já não há fluxos concentrados individuais (canais secundários) e sua dinâmica interna encontra-se em intenso desgaste difuso (figura 63 e 64).



**Figura 62** - Configuração morfológica externa da Voçoroca 02, 2017





**Figura 63 A, B, C, D** - Sulcos e ravinas Na voçoroca 2 / C-D: Processos erosivos difusos no interior da voçoroca 2



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.



**Figura 64 A, B:** Sulcos e ravinas no interior da voçoroca 2 evidenciando a generalização erosiva com rompimento de antigas divisões que formavam canais secundários. Comprovação da atual forma retangular avançada



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.



Dada às considerações sobre a evolução morfológica externa de voçorocas, Vieira (2008) aponta que a feição regular é o último estágio de qualquer avanço de erosão sobre a vertente na medida em que não há mais bordos de divisão dos canais de drenagem, ocasionando a junção de diversos fluxos superficiais, com o único trabalho de entalhamento do material da vertente, aumentando significativamente a cratera erosiva.

Quanto à setorização da Voçoroca 02, nota-se que a erosão se manifestou no terço superior e médio, chegando a abranger uma área de 10, 97 km<sup>2</sup>. A atuação dos processos erosivos sobre a vertente esculpem sucessivas aberturas em formas de sulcos e ravinas de até 05 metros de profundidade.

O terço inferior da voçoroca 2 caracteriza-se pela acumulação de sedimentos consolidados, com a presença da vegetação arbustiva sobre o material. Ocupa uma dimensão de 1,48 km<sup>2</sup> e em toda essa extensão, observa-se sulcos com 20 a 30 cm de profundidade, mas sem nenhuma interferência nos bancos de sedimentação (figura 65).

**Figura 65 A, B** - Vista panorâmica do banco de sedimentos consolidados e presença de vegetação arbustiva secundária sobre o material. B – ranhuras inferiores a 30 cm de profundidade na base do banco de sedimentação no setor de acumulação da voçoroca 2







Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.

A dinâmica interna da voçoroca 2 sugere a atuação de diversos processos que interferem no seu processo evolutivo. Em seu topo, registra-se a ocorrência de um complexo de alcovas de regressão totalizando-se 08 (figura 66).

As alcovas de regressão se constituem feições de desmoronamento que ampliam a cratera erosiva pelas sucessivas perdas de solo, em blocos, sob o efeito de escoamentos superficiais. As alcovas de regressão aqui analisadas, possuem largura mínima de 2,0 metros com variação até 6,3 metros. Como se percebe na tabela 04 a seguir a profundidade mínima entre elas é de 2,5 até 4,3 metros. Apesar da proximidade das alcovas de regressão, a posição topográfica e a resistência da litologia, certamente influenciam na dimensão métrica de ambas.

**Tabela 4** - Tucano/BA, dimensões métricas das alcovas de regressão na voçoroca 02, 2017

<i><b>Alcovas de Regressão</b></i>	<i><b>Largura</b></i>	<i><b>Profundidade</b></i>
<b>1</b>	2,13 m	2,58 m
<b>2</b>	4,14 m	3,11 m
<b>3</b>	3,41 m	2,56 m
<b>4</b>	2,03 m	3 m
<b>5</b>	4,50 m	4m
<b>6</b>	2,34 m	3,12 m
<b>7</b>	5,10 m	4,13 m
<b>8</b>	6,38 m	4,32 m

Fonte: Bismarque Lopes Pinto, 2017.

Mediante ao aparecimento do complexo de alvocas de regressão, esta feição, na perspectiva de Oliveira (2009) são ações internas localizadas na cabeceiras das voçorocas que proporcionam o aumento das feições, transformando gradativamente o formato em “V” para o alargamento em formato “U” sendo considerado o estágio de maior queda em blocos e desagregação mecânica da retirada de matéria do sistema erosivo.

O elemento alcova de regressão, mediante as considerações de Vieira (2008), leva a mudança da voçoroca em sua tipologia na vertente, saindo do nível de conectada com a conexão com a rede de drenagem e localização apenas no terço inferior da vertente, evoluindo assim, para uma tipologia integrada, uma vez que as alvocas progridem a montante, sempre em direção ao aumento da voçoroca no sentido base-topo.

Na parte interna da voçoroca 2, também houve o reconhecimento de dutos com 4,28 metros de altura e 1,56 metros de largura. Esta feição morfológica, se desenvolve em área de atuação da erosão subsuperficial mais intensa. A sua ocorrência acaba ampliando as dimensões areais da voçoroca.

Os dutos, no entendimento de Guerra (2011), podem ter sua origem associados a ação biológica de raízes e microorganismos, como também pela ação das águas do lençol freático que geram um movimento de rompimento da base ou das laterais da voçoroca. O sistema de dutos pode atingir de alguns centímetros de diâmetros até vários metros de abertura (figura 67).



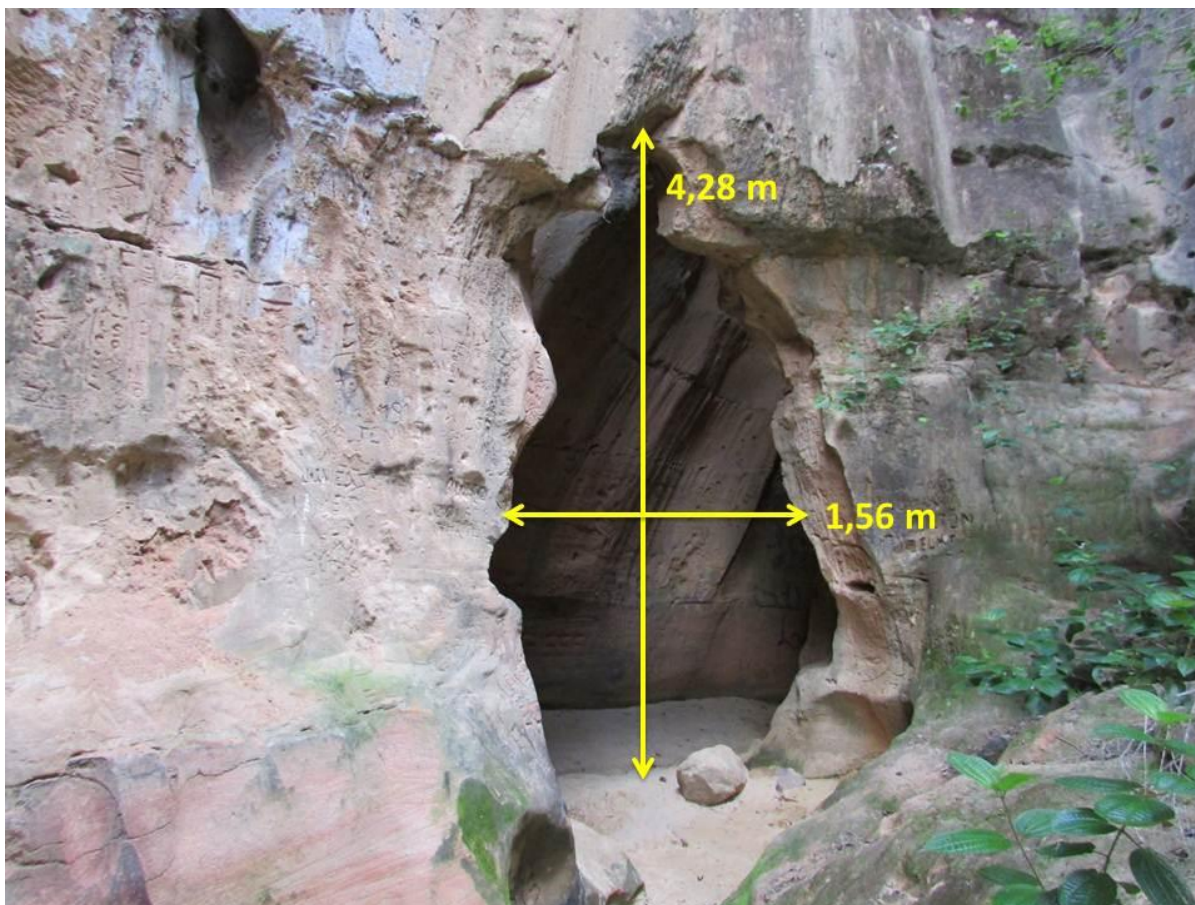
**Figura 66 A, B** - vista panorâmica das 08 alcovas de regressão originadas no topo da voçoroca 02.  
B – Medição das alcovas de regressão na voçoroca 2.



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.



**Figura 67** - Dimensão espacial do duto no interior da voçoroca 02



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.

Além das feições morfológicas anteriormente apresentadas, constatou-se também ao longo do interior da voçoroca 2 diversos ambientes exibindo os Pedestais. Esse tipo de morfologia resulta de atividades erosivas por salpicamento associados a fluxos superficiais difusos que acabam deixando os pedestais na paisagem, denunciando maior resistência do material aos processos erosivos atuantes no local (figura 68).

Ao longo do percurso da voçoroca 2, observou-se, ainda, a presença de solapamento das paredes laterais ocasionadas pelas águas superficiais que, em períodos de chuvas torrenciais, acabam influenciando a queda de blocos que desestabilizando ainda mais a estrutura interna da voçoroca, promovendo a sua ampliação vertical, com consequente perda de solo (figura 69).

A ocorrência de queda em blocos, a partir da análise de Vieira (2008) se constitui enquanto um indicativo de mudança morfológica da voçoroca, uma vez que, essa desagregação mecânica irá promover o reajuste das paredes laterais da feição erosiva, modificando o formato íngreme em “V” para uma forma de maior alargamento em “U” com fundo plano e acumulação de sedimentos.



**Figura 68 A, B:** Pedestais no interior da voçoroca 02



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.



**Figura 69 A, B** - Queda de blocos do material arenoso das paredes internas da voçoroca 02



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.



Nas paredes internas, identificou-se a ocorrência de sulcos e ravinas demonstrando a ativa ação erosiva nos mais diversos níveis altimétricos da voçoroca, bem como a formação de bancos arenosos inconsolidados espalhados no interior da voçoroca 2 (figura 70). O aparecimento de sulcos e ravinas na compreensão de Guerra (2011) denuncia a atividade constante do retrabalhamento de pequenas ações erosivas que mesmo numa dimensão reduzida no interior da voçoroca, desempenham um papel crucial na remoção do material da cicatriz e auxiliando no entalhamento das paredes laterais.

Mesmo com a presença de vegetação secundária no interior da voçoroca 2, percebe-se que essa feição erosiva não retém material arenoso, visto que a área ainda sofre a atuação direta da pecuária extensiva que, por sua vez, não permite a fixação da vegetação no interior e na parte externa da voçoroca 02 (figura 71).

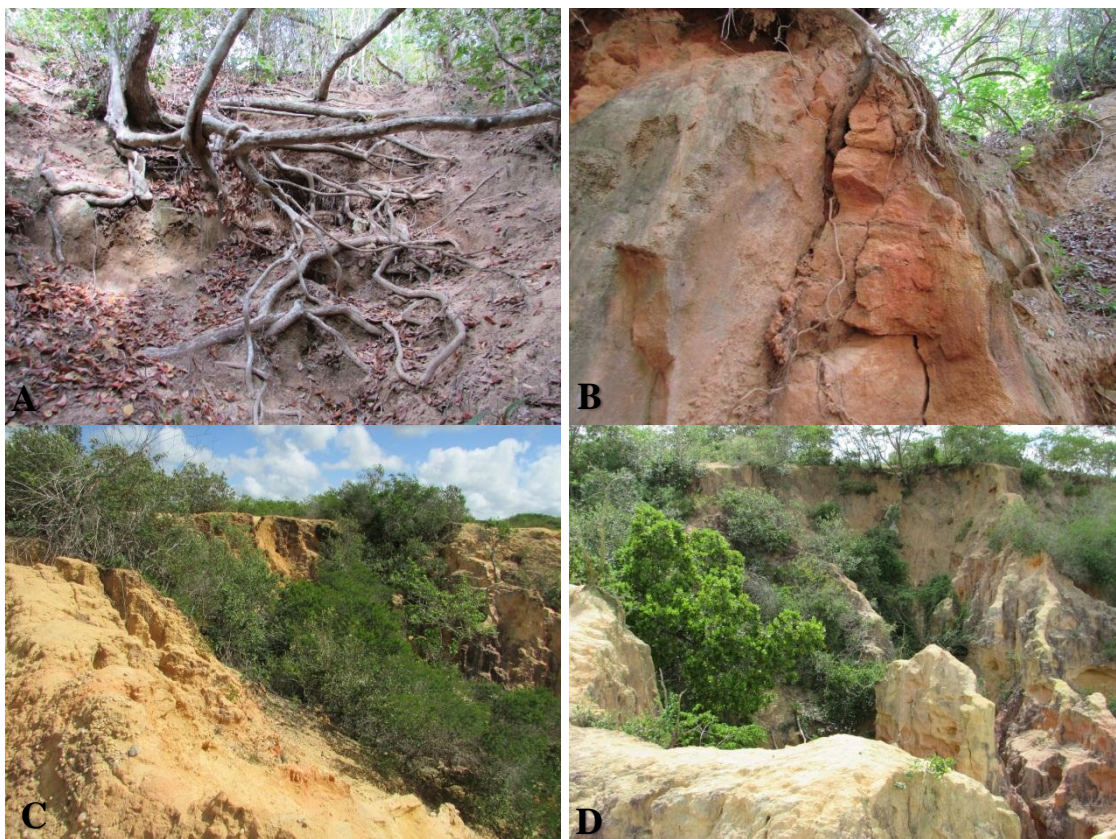
Considerando as colocações de Guerra (2011) e Araújo *et al.* (2008) acerca do fator vegetação no processo de estabilização da erosão em encosta, pode-se constatar em campo, que a vegetação secundária da caatinga, já não atua como elemento protetor por conta de desmatamentos antigos que desestabilizaram a vegetação nativa, deixando apenas pontos isolados de vegetação que pouco contribui dada as atuais dimensões erosivas.

**Figura 70** - Seta preta: Formação de sulcos e ravinas na parede interna da voçoroca 02 / Seta branca: acúmulo de sedimentos no interior da V2



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.

**Figura 71 A, B, C, D** - Presença da cobertura vegetal secundária no interior da voçoroca 2.



Crédito: Bismarque Lopes Pinto, 2017.



#### 4.2.3. Análise morfométrica, perda de solo e posicionamento topográfico na vertente

É importante ressaltar que, pelo fato de a voçoroca 2 não apresentar canais secundários, as medições e cálculos da área foram subdivididos de acordo com a setorização da feição erosiva (tabela 05). Em termos de abrangência, a voçoroca ocupa uma área de 10,979 km<sup>2</sup>. A área de maior atuação da erosão é de 9,008 km<sup>2</sup>, enquanto a área de acumulação totaliza 1,971 km<sup>2</sup>.

**Tabela 5** - Dados morfométricos e do volume médio erodido da Voçoroca 02

Dimensões	Valores	Dimensão em km <sup>2</sup>	Perda <b>média</b> de solo em m <sup>3</sup>	Parâmetro correlativo entre volume médio erodido com o estabelecimento do tamanho da voçoroca.
<b>Sector de Erosão da V2:</b>				
<b>Comprimento</b>	3,848 km	9,008 km <sup>2</sup>	2,612 m <sup>3</sup>	Pequena
<b>Largura</b>	2,341 km			
<b>Profundidade</b>	290 m			
<b>Sector de sedimentação da V2:</b>				
<b>Comprimento</b>	1,698 km	1,971 km <sup>2</sup>	433 m <sup>3</sup>	Muito Pequena
<b>Largura</b>	1,161 km			
<b>Profundidade</b>	220m			
<b>Total:</b>		<b>10,979km<sup>2</sup></b>	<b>3,045m<sup>3</sup></b>	Pequena

Obtenção dos Dados: Coleta de dados em programa ArGis e Trabalho de campo, 2017.

A área de erosão mais agressiva, apresenta profundidade de 290 metros, com registro de perda de solo em torno de 2,61 m<sup>3</sup>. Já no setor de acumulação, onde os processos de sedimentação são mais atuantes, verifica-se profundidade de 200 metros, com perda de solo equivalente a 433m<sup>3</sup>, pois, apesar de atualmente se constituir em área sólida de acumulação do material removido do setor de erosão, em tempos pretéritos, essa área sofreu a influência de atuação dos processos erosivos com maiores perdas de solo.

No perfil longitudinal (seção A-B, figura 72), observa-se irregularidade no processo de entalhamento e aprofundamento do canal devido à forte resistência do material litológico e da presença de diversos blocos rochosos, das mais variadas dimensões, que ainda se fazem presentes no interior da voçoroca 2 desencadeando a erosão e causando a irregularidade interna na morfologia.

No perfil transversal (figura 72, seção C-D), visualiza-se melhor o aprofundamento do canal com a formação de blocos de maior resistência a erosão. Esse material rochoso de



maior resistência vem apresentando desgastes e feições de sulcos e ravinas como resultado dos processos erosivos, que neste ambiente, demandam um tempo maior para evoluir.

No setor de acumulação (figura 72, seção E-F) tanto nos perfis longitudinais, quanto no transversal (seção G-H) verifica-se incisões com maior abertura resultantes da atuação de processos erosivos pretéritos. Uma outra forma de constatação do material depositado são os picos abruptos da linha do perfil (seção G-H) que indicam forte elevação da morfologia, pois neste segmento, encontra-se o material depositado.

Quanto a posição topográfica da voçoroca 2 na vertente, constatou-se que a mesma se encontra desconectada, pois analisando o perfil no ambiente SIG, juntamente com o cotejo de campo, não se percebeu nenhuma ligação direta com a rede de drenagem, uma vez que, o rio mais próximo da voçoroca 2 é o Itapicuru que se distancia por 08km (figura 73),

Essa posição desconectada se dá pelo fato de a voçoroca 2 possuir maior área de ocupação nos terços superior e médio da vertente, constituindo, assim, uma voçoroca de expressiva evolução vertical (no sentido do aprofundamento), mas, sem ainda conectar-se com a rede de drenagem local.

Contudo, vale salientar que assim como já foi apresentado na voçoroca 01 (figura ?), possivelmente a voçoroca 02 sob as condições climáticas pretérita de característica úmida, a mesma obteve ligação com a o Rio Itapicuru, tornando-se assim integrada a rede de drenagem.

O vestígio desta transição de mudança tipológica em vertente é o extenso plaino de acumulação que hoje se constitui enquanto barreira geográfica entre a voçoroca e a drenagem. Outro fator influenciador na possível conexão em tempos pretéritos são as mudanças naturais do nível de base do itapicuru que em períodos úmidos, possuía um nível maior do que o curso fluvial apresentado nas condições climáticas semiáridas atuais.

Com o aumento do nível de base do itapicuru e a aparente ausência dos plainos de acumulação, a voçoroca localizada no terço superior e médio da vertente, estabelecia ligação com o Itapicuru que alcançava o terço inferior e médio da vertente e por consequência, a cicatriz erosiva. Na mudança das condições climáticas, o terço inferior da vertente é preenchido por sedimentos da voçoroca e do antigo nível de base do rio, formando os plainos e por consequência, o Itapicuru assume a atual posição do novo nível de base, afastando-se e desconectando-se da voçoroca.

Figura 72 - Perfis topográficos da Voçoroca 02, 2017

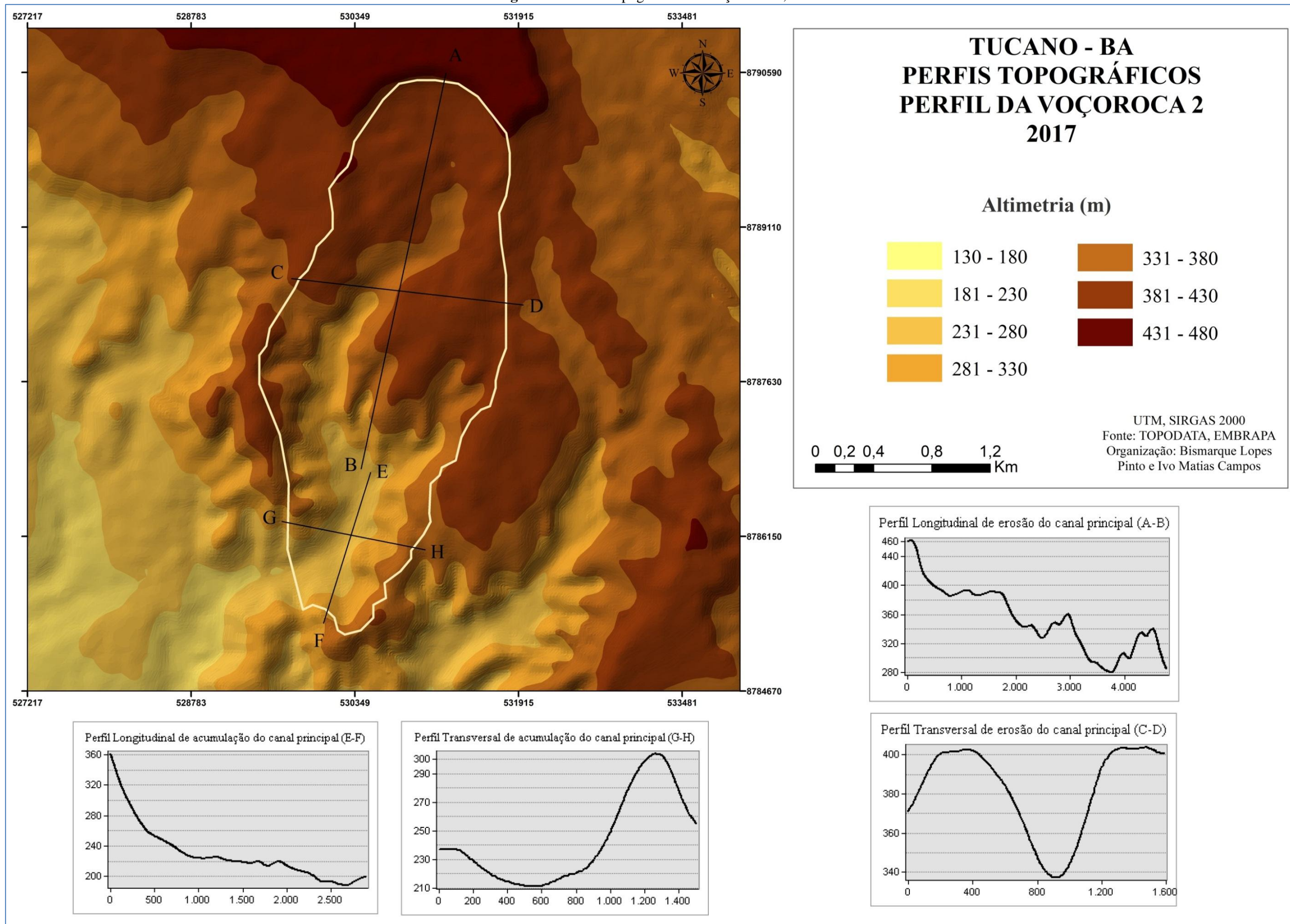
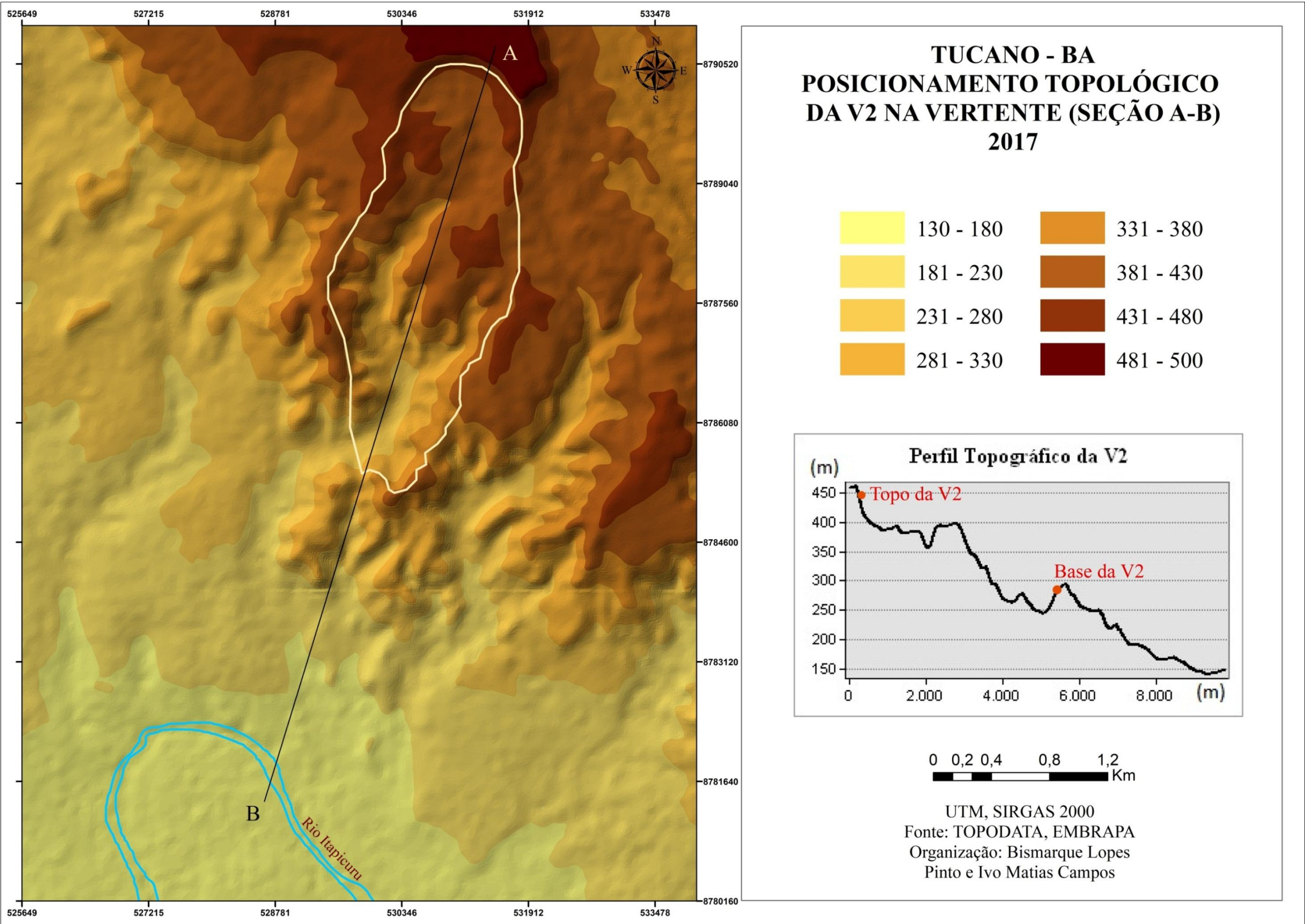




Figura 73 – Posicionamento topográfico da Voçoroca 02 na vertente, 2017.





## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

Abordar o tema voçoroca e erosão dos solos é de fundamental importância para se compreender como este fenômeno influencia na evolução das paisagens.

A escolha do *locus* desta pesquisa emergiu a partir da indagação inicial do desconhecido, diante do panorama erosivo bastante expressivo existente no espaço rural do município de Tucano/BA, sem que, até os dias atuais, tivesse merecido dos curiosos na temática uma análise explicativa da evolução da erosão pela tamanha grandeza registrada na paisagem local ao longo do tempo geológico.

Com a análise qualitativa/quantitativa das voçorocas estudadas, chegou-se à conclusão de que, apesar de ambas estarem assentadas sobre, praticamente, às mesmas condições climáticas, litológicas, geomorfológicas e pedológicas, os processos evolutivos da erosão em tempos pretéritos e atuais, responderam pela elaboração na paisagem de morfologias diferenciadas.

Dadas as grandes dimensões da área, afirma-se que o sistema de voçorocamento predominante no espaço rural do município de Tucano tem sua gênese associada à interferência conjunta dos processos naturais na evolução do relevo tabuliforme local, mesmo porque as atividades econômicas desenvolvidas no perímetro de domínio das cicatrizes erosivas, pela sua expressividade no terreno, limita-se na criação de gado, de maneira aleatória, além da agricultura familiar esporádica que não demanda um uso intensivo do solo capaz de repercutir na evolução rápida do relevo local, a não ser de forma muito secundária, com resultados quase imperceptíveis.

Os questionamentos iniciais norteadores da pesquisa foram respondidos com os resultados empíricos a partir da constatação *in loco* das feições morfológicas internas e externas comprovando processos evolutivos das voçorocas engendrados pela ação do escoamento superficial das águas das chuvas torrenciais impulsionando energeticamente o fluxo de matéria das voçorocas, refletido no desenvolvimento das alcovas de regressão, formação de dutos, de marmitas e costelas, além da disseminação de sulcos e ravinas que entalham, cada vez mais, a vertente retirando sedimentos e, com isso, aumentando a perda de solo.

Neste sentido, os parâmetros aqui pré-estabelecidos, elencados na metodologia, prezou pelo cuidado na classificação das morfologias externas e internas, com o rigor científico de comprovar os fenômenos reconhecidos em campo e pelo ambiente SIG nas imagens captadas

e georreferenciadas da área. Assim, o parâmetro adotado para a perda de solo, apesar de classificar as feições erosivas de menores dimensões, verificou-se que elas acabam ganhando destaque na paisagem morfológica, pelo fato de apresentarem significativas crateras erosivas com os mais variáveis níveis de profundidade e alargamentos no perímetro delimitado para esse estudo.

Interessante é observar que, as duas voçorocas investigadas ainda necessitam de um tempo geológico maior para evoluírem, dadas as condições climáticas predominantes no ambiente, uma vez que, ainda se limitam ao terço superior e médio das vertentes sem expansões atuais para o terço inferior, de modo que sejam conectadas com rede de drenagem existente na área pela sua relação de proximidade.

Vale destacar que a dinâmica erosiva encontra-se em atividade, porém, dada as condições de semiaridez, o impulsionamento energético promovido pela ação pluvial é lento e ocasionado em períodos de precipitações torrenciais. Se tratando de paleovoçorocas de cunho natural, pode-se constatar que ambas ainda irão evoluir em sua morfologia e dimensão métrica sobre a vertente, promovendo nos próximos tempos geológicos, o recuo lateral das vertentes do tabuleiro e um possível novo reestabelecimento com a rede de drenagem caso os condicionantes climáticos passem por novas modificações e ampliando a atividade erosiva sobre os atuais plainos de acumulação.

No que pese ao aspecto interno, conclui-se que a voçoroca 2, por não apresentar canais secundários e possuir uma morfologia retangular, evoluiu mais rapidamente do que a voçoroca 1, que ainda comporta a divisão de canais em sua estrutura, demandando um tempo considerável para a sua evolução no sentido do aprofundamento vertical e alargamento lateral. Outro aspecto diferenciador entre ambas está na exibição de algumas morfologias, como por exemplo, as alcovas de regressão da voçoroca 2 que aceleram ainda mais a perda de solo e escavam as vertentes em proporções maiores do que as costeletas e/ou marmitas que oferecem pouca contribuição para a evolução métrica da voçoroca 1.

O aparecimento de pedestais nas voçorocas, como visto, evidenciam a atuação de sucessivos processos erosivos influenciados pelo escoamento superficial difuso. Finalmente, os resultados aqui apresentados servem de base para a implementação de uma política de planejamento ambiental, até mesmo pelo pioneirismo da investigação, já que a área sempre foi vista como lugar inútil e de pouco interesse sob o ponto de vista da gestão municipal local. Assim, pelo alto grau de degradação a que chegou a área do perímetro das voçorocas urge uma tomada de medidas que visem à preservação do ambiente.

## 6. REFERÊNCIAS

---

- AB'SÁBER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário, **Revista de Geomorfologia**, São Paulo, n. 18, p. 1-23, 1969.
- ARAÚJO, G. H. de S; ALMEIDA, J. R. de; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.
- BERTALANFFY, L. V. **Teoria Geral dos Sistemas**. Petrópolis: Editora Vozes, 1977.
- BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Editora Ícone, 2010.
- BERTRAND, G. Paisagem e Geografia física global: esboço metodológico. **Revista o espaço geográfico em análise**, Curitiba, v. 8, n. 8, p. 141-152, 2004.
- BIGARELLA, J. J; BECKER, R. D; SANTOS, G. F. dos. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Vol. 02. Santa Catarina: Editora da UFSC, 2007.
- BIGARELLA, J.J.; MAZUCHOWSKI, J.Z. Visão integrada da problemática da erosão. In: III Simpósio Nacional de Controle de Erosão. (**Livro Guia**). ABGE/ADEA: Maringá, 1985.
- BRAUN, W. A. G. Contribuição ao estudo da erosão no Brasil e seu controle. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, p. 591-642, 1961.
- CAPRA, F. **A teia da vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos**. São Paulo: Cultrix, 1996.
- CARVALHO, J. C. de; SALES, M. M; MORTARI, D; FÁZIO, J. A; MOTTA, N. O. da; FRANCISCO, R. A. Processos erosivos. In: CARVALHO, J. C. de; SALES, M. M; SOUZA, M. N. de; MELO, M. T. da S (orgs.). **Processos erosivos no centro-oeste brasileiro**. Brasília: FINATEC, 2006.
- CASSETI, V. **Elementos de Geomorfologia**. Goiânia: Editora da UFG, 2001.
- CHANG, H. K; KOWSMANN, R. O; BENDER, A. A; MELLO, U. T. Origem e evolução termomecânica de bacias sedimentares. In: GABAGLIA, G. P. R; MILANI, E. J. (orgs.). **Origem e evolução de bacias sedimentares**. Rio de Janeiro: Editora Gávea, 1990.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1980.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.
- CHRISTOFOLETTI, A. Significância da Teoria de Sistemas em Geografia Física. **Boletim de Geografia Teórica**, Rio Claro, v. 16-17, n. 31-34, 119-128, 1987.
- MOURA, J. R. da S. Geomorfologia do Quaternário. In: GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. (orgs.). **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994.



EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. EMBRAPA: Brasília, 2006.

GUEDES, C. C. F; SAWAKUCHI, A. O; GIANNINI, P. C. F; WITT, R. de; AGUIAR, V. A. P. Datação por luminescência opticamente estimulada: princípios e aplicabilidade nos depósitos sedimentares brasileiros. In: XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário – ABEQUA (**anais**). UFRJ: Rio de Janeiro, 2011.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T; SILVA, A. S; BOTELHO, R. G. M (orgs.). **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. da (orgs.). **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

INMET. **Dados da Rede do INMET**. Disponível em:

[http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede\\_estacoes\\_conv\\_graf](http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_conv_graf),

Disponível em: 15 de setembro de 2017.

LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. Oficina de Textos: São Paulo, 2011.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação do solo**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

MAIA, L. P; GASTÃO, F. G. C; TATUMI, S. H; LACERDA, L. D. A utilização do método de luminescência opticamente estimulada para a datação de sedimentos de dunas costeiras do nordeste setentrional do Brasil. **Revista Virtual de Química**, Fortaleza, v. 3, n. 2, p. 103-115, 2011.

MAFRA, N. M. C. Erosão e planificação do solo. In: GUERRA, A. J. T; SILVA, A. S; BOTELHO, R. G. M (orgs.). **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.

MATTOS, S. H. V. L. de; PEREZ FILHO, A. Complexidade e estabilidade em sistemas geomorfológicos: uma introdução ao tema. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, v. 05, n. 01, p. 11-18, 2004.

MELLO, C. L. **Sedimentação e tectônica cenozóica no médio vale do rio doce (MG, sudeste do Brasil) e sua implicação na evolução de um sistema de lagos**. 1997. (Tese – Doutorado em Geografia) Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MORIN, E. **O Método 1**: a natureza da natureza. Publicações Europa-América Ltda, 1977.

NASCIMENTO, S. A. M; ALVES, J. E. Estudo hidrogeoquímico comparativo entre os aquíferos barreiras, marizal e são sebastião na região do recôncavo norte, estado da Bahia. **Cadernos de Geociência**. Salvador, v. 11, n. 12, p. 72-82, 2014.

NUCCI, J. C. Origem e desenvolvimento da ecologia da paisagem. **Revista Eletrônica Geografar**, Curitiba, v. 2, n. 1, p. 77-99, 2007.

OLIVEIRA, J. B. de. **Pedologia Aplicada**. FEALQ: Piracicaba, 2008.

- OLIVEIRA, M. A. T. de. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In: GUERRA, A. J. T; SILVA, A. S; BOTELHO, R. G. M (orgs.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.
- PALMIERI, F; LARACH, J. O. I. Pedologia e Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. da (orgs.). **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.
- PEDREIRA, A. J; SANTOS, C. C; REIS, C. **Projeto Bacia do Tucano Central**. Folhas Ribeira do Pombal e Cícero Dantas – Estados da Bahia e Sergipe. CPRM. Salvador. 2010.
- PENTEADO, M. M. **Fundamentos de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1980.
- POLETTE, M. Paisagem: Uma reflexão sobre um amplo conceito, **Revista Turismo – visão e ação**, Balneário Camboriú, v. 2, n. 3, p. 83-94, 1999.
- QUEIROZ NETO, J. P. de. Relações entre as vertentes e os solos: revisão de conceitos, **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia. V. 12, n. 3, p. 15-24, 2011.
- RESENDE, M; CURI, N; REZENDE, S. B. de; CORRÊA, G. F; KER, J. C. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. Lavras: Editora da UFLA, 2014.
- RODRIGUEZ, J. M. M; SILVA, E. V; CAVALCANTI, A. P. B. **Geoecologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. Fortaleza: Editora UFC, 2013.
- ROMÃO, P. de A.; SOUZA, N. M. de. Caracterização ambiental. In: CARVALHO. J. C. de; SALES, M. M.; SOUZA, N. M. de; MELO, M. T. da S. **Processos erosivos no centro-oeste brasileiro**. FINATEC: Universidade de Brasília, 2006.
- ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 06, p. 17-30, 1992.
- SALGUEIRO, T. B. Paisagem e Geografia, **Revista Finisterra**, Lisboa, v. 36, n. 72, p. 37-56, 2001.
- SALOMÃO, F. X. de T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T; SILVA, A. S; BOTELHO, R. G. M (orgs.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.
- SANTOS, C. F; CUPERTINO, J. A; BRAGA, J. A. E. Síntese sobre a geologia das bacias do recôncavo, tucano e jatobá. In: GABAGLIA, G. P. R; MILANI, E. J. (orgs.). **Origem e evolução de bacias sedimentares**. Rio de Janeiro: Editora Gávea, 1990.
- SCHIER, R. A. Trajetórias do conceito de paisagem na Geografia. **Revista o espaço geográfico em análise**, Curitiba, v. 7, n. 7, p. 79-85, 2003.
- SEI. **Sistema de Informações Municipais**. Disponível em: <http://sim.sei.ba.gov.br/sim/index.wsp>, Acesso em: 15 de setembro de 2016.

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. **Glossary of soil science terms**. Madison: Wisconsin-USA, 2008.

TOMÉ JUNIOR, J. B. **Manual para interpretação de análise do solo**. Guaíba, RS: Agropecuária, 1997. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

VICENTE, L. E; PEREZ FILHO, A. P. Abordagem sistêmica e geografia. **Revista de Geografia**. Rio Claro, Vol. 28, N. 03, set./dez. p. 323-344, 2003.

VIEIRA, A. F. G. **Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM):** Principais fatores controladores e impactos urbano-ambientais. 2008. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

VIEIRA, A.F.G.; ALBUQUERQUE, A.R.da C. Cadastramento de voçorocas e análise de risco erosivo em estradas: BR-174 (Trecho Manaus – Presidente Figueiredo). In: V Simpósio Nacional de Geomorfologia e I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia. **(Anais)**. UGB/UFSM: Santa Maria, 2004.

VITTE, A. O desenvolvimento do conceito de paisagem e a sua inserção na Geografia física, **Mercator – Revista de Geografia da UFC**, Fortaleza, v. 6, n. 11, p. 71-78, 2007.



## 7. ANEXO

### LISTA DE PONTOS

PONTO	X	Y	DESCRIÇÃO/FIGURA
1	529987	8787800	Fig. 15 afloramento de arenito.
2	530998	8787603	Fig. 16 afloramento de arenito com conglomerado.
3	551738	8785590	Fig. 20 Vista panorâmica do tabuleiro, exibindo os planos de estratificação horizontal.
4	529003	8788950	Fig 26 Processo de ravinamento em cabeceira do canal principal da V1
5	527990	8788840	Fig. 27 Ramificações de sulcos e ravinas no topo do canal secundário 01 da V1
6	528216	8786900	Fig. 32 Complexo erosivo no canal secundário 03
7	528397	8788510	Fig. 36 Incisão vertical de 6,12 metros no canal secundário 02
8	528205	8785437	Fig. 42 Ramificação em ravinas no canal secundário 04
9	527541	8786980	Fig. 45 Processo de ravinamento no canal principal da V1
10	527738	8788520	Fig. 46 Formação de pedestal no canal secundário 01 da V1
11	527290	8788200	Fig. 48 Formação de marmitas no canal secundário 02, na V1
12	529410	8789520	Fig. 60 Cicatrizes erosivas com aprofundamento de 6m
13	529010	8787980	Fig. 61 Processos erosivos difusos
14	531297	8788390	Fig. 64 Sulcos e ravinas no interior da voçoroca 02 evidenciando a generalização erosiva com rompimento de antigos canais
15	529906	8786210	Fig. 65 Vista panorâmica do banco de sedimentos
16	529983	8789562	Fig. 66 Vista Panorâmica das 08 alcovas de regressão na V2
17	529251	8787989	Fig. 67 Dimensão espacial do duto na V2
18	529005	8788075	Fig. 68 Pedestais na V2
19	529100	8787300	Fig. Queda de blocos da V2
20	530079	8788503	Fig. 70 formação de sulcos e ravinas